

다중 드론 시뮬레이터와 LoRa 센서 네트워크를 활용한 실종자 탐색 시뮬레이션 및 테스트베드 구축

현만석*, 최광훈*, 김재훈^o

Development of Simulation and Test-Bed for Searching Missing People Using Multi-Drone Simulator and LoRa Sensor Network

Man-seok Hyun*, Kwang-hoon Choi*, Jai-hoon Kim^o

요 약

지진, 해일과 같은 자연 재해 상황에서 부상자 및 실종자의 신속한 구조가 매우 중요하다. 하지만 자연 재해는 광범위한 영역에 걸쳐 발생하기 때문에 신속한 실종자 탐색에 많은 어려움이 있다. 이러한 문제를 효율적으로 해결하기 위해 본 논문에서는 다중 드론 시뮬레이터와 LoRa(Long-Range) 센서 네트워크를 활용한 실종자 탐색 알고리즘을 고안하였으며, 관련 테스트베드를 구축하여 시뮬레이션을 수행하였다. 1단계 실종자 탐색 알고리즘에서는 수신된 LoRa 비콘의 GPS 정보를 바탕으로 실종자의 위치를 탐색한다. 만약 거리 및 지형에 의해 통신 환경이 좋지 않아 LoRa 비콘으로부터 GPS 정보가 원활하게 송·수신되지 않는 경우, 비콘의 RSSI 신호 값을 바탕으로 드론과 실종자 사이의 거리 값을 계산하여 실종자의 위치를 탐색하는 2단계 탐색 알고리즘을 수행한다. 실험결과, 1단계 탐색알고리즘에서 신호 전파 범위에 따라 실종자 탐색속도가 다중드론을 활용했을 때 단일드론에 비해 5~15배 더 빨랐다. 신호세기 기반의 실종자 탐색을 수행하는 2단계 탐색 알고리즘에서 RMS(Root Mean Square) 방식으로 실종자의 위치를 계산한 좌표의 오차거리가 평균값(Mean)으로 계산한 오차거리의 평균 91.5% 수준(최대 79% 수준까지 감소)이었으며, 탐색속도는 다중드론이 단일드론보다 5.06배 더 빨랐다.

Key Words : Multi-Drone, LoRa, MAVLink, DroneKit, RSSI

ABSTRACT

Rapid rescue of injured and missing person is very important in natural disasters such as earthquakes and tsunamis. However, since natural disasters occur over a wide area, there are many difficulties in searching for missing person. In order to solve this problem efficiently, we have devised a missing person search algorithm using a multi-drone simulator and LoRa(Long-Range) sensor network, and constructed a related test bed to perform the simulation. In the level-1 missing person search algorithm, the location of the missing person is searched based on the GPSs information of the received LoRa beacon. If GPS information is not stably transmitted or received from the LoRa beacon due to poor communication environment due to distance and terrain, We perform a level-2 search algorithm with the distance calculated based on the beacon RSSI signal value to search for the location of the missing person the drones and the missing person. Experimental

* 본 연구는 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2018R1D1A1B07040573).

• First Author : (ORCID:0000-0002-7998-6209)Ajou University Department of Computer Science, bws2958@gmail.com, 정희원

◦ Corresponding Author : (ORCID:0000-0001-9738-6197)Ajou University Department of Cyber Security, jaikim@ajou.ac.kr, 정희원

* (ORCID:0000-0001-9597-143X)Ajou University Department of Computer Science, saarc@ajou.ac.kr, 학생회원

논문번호 : 201806-D-007-RN, Received June 4, 2018; Revised October 24, 2018; Accepted October 24, 2018

results show that when the multi-drones are used in the search algorithm according to the signal propagation range, the search speed of missing persons is 5 to 15 times faster than the single drone. In the level-2 search algorithm which performs the search for missing persons based on the signal strength, the error distances of the coordinates calculated by the RMS(Root Mean Square) method were 91.5% (down to 79%) of the error distances calculated as the mean value and it is 5.06 times faster than single drone.

I. 서 론

드론 기술이 발전함에 따라 드론을 활용한 난제 해결에 사람들의 관심이 높아지고 있다. 드론은 인간이 직접 수행하기 어려운 임무를 효율적으로 수행해준다. 특히, 재난 및 자연 재해가 발생한 상황에서 드론의 활용가치는 매우 높다. 피해가 발생한 지역에 영상장비를 탑재한 드론을 투입하여 실시간으로 현장을 촬영함으로써, 피해 상황을 쉽고 빠르게 파악할 수 있으며, 이를 토대로 실종자 탐색을 위한 최우선 구조 활동 계획도 세울 수 있다. 그러나 재난 상황에서 드론에 영상장비를 탑재하는 기존의 방식은 흙더미나 건물에 매몰된 사람들의 위치를 골든타임이 지나기 전에 빠르고 정확하게 파악하기 어렵다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 극복하고자 본 논문에서는 다중 드론 시뮬레이터와 LoRa 센서 네트워크를 활용하여 실종자 탐색 알고리즘과 시뮬레이션 테스트베드를 고안하였다. II장에서는 다중 드론과 LoRa 센서 네트워크에 대한 관련연구를 소개한다. III-VI장에서는 실종자 탐색 알고리즘에 대한 시뮬레이션 설계와 실험결과를 서술하며, V장에서는 결론을 서술한다.

II. 관련연구

2.1 DroneKit

3D Robotics 사에서 제공하는 드론 제어 플랫폼으로 실제 드론 제어를 위한 API를 제공한다^[1]. 오픈소스이기 때문에 Parrot, DJI와 같은 기존의 상용제품들과 달리 개발자가 자신의 목적에 맞게 드론 제어 어플리케이션 설계할 수 있다. 관련 시뮬레이션 프로그램으로는 DroneKit-SITL(Software In The Loop)이 있어, 실제 드론에 적용하기 전에 개발자가 설계한 프로그램을 시뮬레이션 할 수 있다. 본 논문에서는 Dronekit-Python API와 DroneKit-SITL을 활용하여 실제 드론에 적용 가능한 시뮬레이션 프로그램을 제작한다.

2.2 DroneKit-SITL

DroneKit-SITL(Software In The Loop)을 활용하여 DroneKit-Python API로 제작한 드론 제어 프로그램을 시뮬레이션 한다^[2]. DroneKit-SITL을 활용하면 단일 드론 제어뿐만 아니라 다중 드론의 제어까지 시뮬레이션 할 수 있다는 장점이 있다. 이는 시뮬레이션 없이 다중 드론을 제어할 경우 발생할 수 있는 통신 및 기계 충돌의 문제를 사전에 점검할 수 있어 실제 운용되는 시스템의 신뢰도와 안정성을 높일 수 있다.

2.3 MAVLink Protocol(Micro Air Vehicle Link)

DroneKit-SITL 시뮬레이터에서 동작하는 가상의 드론과 DroneKit-Python API로 제작한 어플리케이션 프로그램, 그리고 GCS(Ground Control Station) 프로그램인 Mission Planner를 연결하기 위해 전용 통신 프로토콜인 MAVLink를 사용한다. MAVLink 프로토콜은 소형 무인기와 통신하기 위해 그림 1과 같이 8-263byte의 패킷 사이즈를 가지며, MAVProxy^[3]라는 MAVLink 전용 소프트웨어 패키지를 통해 드론과 외부 통신 장치 및 어플리케이션 프로그램을 연결한다. 데이터 송수신은 IP 기반의 UDP 또는 TCP 통신을 통한 패킷 포워딩으로 이루어지며, 각 드론마다 매칭 되는 개별적인 포트번호를 병렬 연결함으로써 다중 드론의 제어가 가능해진다. 실제 드론 통신을 위해 사용되는 Radio Telemetry 모듈은 433Mhz(유럽기준)와 915Mhz(미국기준)으로 나뉘며, 유효통신 거리는 1~2km이다.^[4]

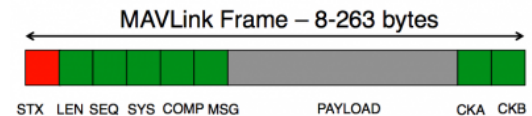


그림 1. MAVLink[5] 프로토콜 패킷 구조도
Fig. 1. MAVLink Protocol Packet structure

2.4 Mission Planner

실제 드론의 동작 상태를 UI로 확인하기 위하여, DroneKit 플랫폼과 연동가능한 GCS(Ground Control Station) 프로그램인 Mission Planner를 활용한다.

MAVLink protocol 전용 어플리케이션인 MAVProxy를 통해 데이터를 송수신할 UDP 포트를 특정한 후, 드론과 Mission Planner를 연결한다. 각각의 드론마다 하나의 UDP 포트가 할당되기 때문에 다중 드론을 Mission Planner와 연결하기 위해서는 MAVProxy로 할당된 UDP 포트를 병렬적으로 연결해야 한다. 연결이 성공적으로 완료되었다면 그림 2처럼 하나의 UI창에서 다중 드론의 이동 및 동작 상태를 확인할 수 있다.



그림 2. Mission Planner[6]
Fig. 2. Mission Planner

2.5 LoRa 센서 네트워크

LoRa(Long-Range)는 IoT 환경에서 저전력, 광범위 통신을 목적으로 하는 LPWAN(Low-Power Wide-Area Network) 센서 네트워크의 구축을 위한 기술로 각광받고 있다. LoRa Alliance에서 LoRa에 대한 표준을 규정하며^[7], LoRaWAN 통신 프로토콜에 따라 데이터 통신이 이루어진다. 본 논문에서는 그림 3과 같이 GPS 모듈이 포함된 LoRa 비콘, LoRa 중계기, LoRa 게이트웨이를 활용한 LoRa 센서 네트워크의 구성을 제안한다. LoRa 비콘은 실종자에게, LoRa 중계기는 드론에, LoRa 게이트웨이는 Base Station에 물리적으로 결합되어 있으며, LoRa 비콘에서 브로드캐스팅 되는 실종자의 LoRa 비콘 신호가 드론에 부착된 LoRa 중계기를 거쳐, 게이트웨이로 전달된다.

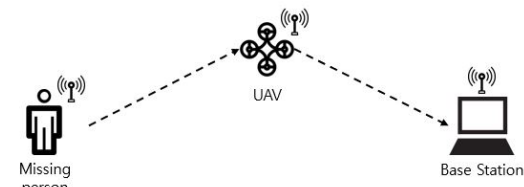


그림 3. LoRa 센서 네트워크 구성도
Fig. 3. LoRa Sensor Network Configuration

2.6 RSSI 기반의 삼변측량 방식을 활용한 대상물 위치 탐색

재난·재해 상황에서 거리 및 지형에 따라 실종자 GPS 정보가 포함된 데이터 패킷의 손실률이 높거나 GPS 센서가 제대로 동작하지 않는 문제가 발생할 수 있다. 이 경우에 LoRa 비콘의 RSSI 신호 값을 바탕으로 대상물의 위치를 탐색하는 2단계 탐색 알고리즘을 수행한다.

RSSI 신호 값을 활용한 비콘과 드론간의 거리 계산은 (1)의 공식을 따른다. d 는 드론 중계기에 수신된 비콘 신호의 거리 값, n 은 경로 손실 계수를 나타내며, A 는 기준점으로부터의 RSSI 값을 의미한다. 일반적으로 기준점의 설정은 발신기로부터 1m 이내의 거리에서 측정된 RSSI 신호 값을 기준으로 하며, 경로 손실 계수 n 은 환경에 따라 표 1과 같이 값이 달라진다.

본 시뮬레이션에서 실종자의 위치 좌표는 드론의 위치 좌표와 LoRa 중계기에서 수신한 RSSI 신호 값에 대응하는 거리 데이터를 바탕으로 삼변측량법을 사용한다. 실종자 비콘의 거리별 RSSI 신호 분포 데이터는 국내의 LoS 및 NLoS 환경에서 LoRa 센서 노드의 RSSI 신호 값을 측정한 실측자료^[9]를 참고하여 데이터베이스화하였다. 시뮬레이션 상에서 드론은 자율 비행을 하면서 해당 좌표에 대한 RSSI 신호 값을 데이터베이스로부터 수신하게 된다. 데이터베이스에는 사전에 측정된 RSSI 신호 값에 대응하는 LoRa 비콘의 거리 값이 저장되어 있기 때문에 RSSI 신호 값만으로도 드론과 LoRa 비콘 사이의 거리 값을 알 수 있다.

실종자 위치 좌표는 측정거리 값에 오차가 발생하지 않을 경우에 그림 4와 같이 세 개의 원이 만나는 교점이며, 좌표 값은 드론과 비콘 사이의 거리 공식 (2)을 활용하여 계산한다.

$$RSSI(dBm) = -(10n \log_{10}(d) + A) \quad (1)$$

표 1. 통신 환경에 따른 경로 손실 요인[8]
Table. 1. Path loss factor by communication environment

Environment	Path Loss Exponent
Free Space	2
Urban area cellular radio	2.7 to 3.5
Shadowed urban cellular radio	3 to 5
In building line-of-sight	1.6 to 1.8
Obstructed in buildings	4 to 6
Obstructed in factories	2 to 3

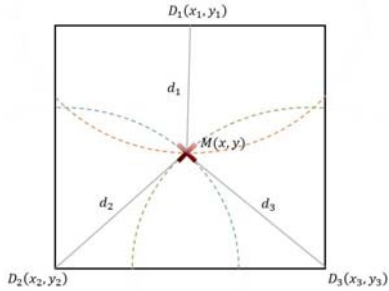


그림 4. RSSI 신호값과 삼변측량법을 활용한 실종자 탐색
Fig. 4. Detection of Missing Persons Using The Distance Value of the RSSI Signal and Triangulation

$$\begin{aligned} d_1^2 &= (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \\ d_2^2 &= (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \\ d_3^2 &= (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

2.7 오차의 발생과 에러 보정

RSSI 신호 값은 통신 환경에 따라 오차가 쉽게 발생하기 때문에 통신 환경이 좋지 않은 재난 상황에서 드론이 탐색한 실종자의 위치좌표 값은 그림 5와 같이 여러 지점으로 나뉘게 된다. 실제 실종자 위치 좌표는 $M(x, y)$ 한 지점이지만 RSSI 신호 값의 오차에 따라 실종자 비콘과 드론 간의 거리 값이 달라져 세원의 공통 교점이 P_1-P_3 으로 나뉘게 된다. 이러한 오차를 보정하기 위하여 본 논문에서는 평균값과 RMS(Root Mean Square) 방식을 활용하여 실종자의 위치 좌표 $P(x, y)$ 를 계산하였다.

평균값의 경우 실종자 위치 좌표 $P(x, y)$ 를 (P_1-P_3)의 (x, y) 좌표 값의 평균 공식(3)으로 계산한다. 이후, 실제 실종자 위치 좌표 $M(x, y)$ 와의 거리 차이를 비교하여 오차 거리를 계산한다.

RMS 방식을 활용할 경우, x 와 y 에 대한 이차함수식을 활용하여 실종자 위치좌표 $P(x, y)$ 와 드론이 탐색한 실종자 예상 위치 좌표(P_1-P_3) 사이의 거리 ($\overline{P_1M}, \overline{P_2M}, \overline{P_3M}$) 제곱의 평균값이 최소화 되는 지점을 (4)의 공식을 활용하여 구한다. 이후, 실제 실종자 위치 좌표 $M(x, y)$ 와의 거리 차이를 비교하여 오차 거리를 계산한다.

본 시뮬레이션에서는 평균값과 RMS를 활용하여 데이터베이스 별로 계산되는 실종자 위치좌표 $P(x, y)$ 의 오차 범위를 비교하여 실제 실종자 탐색에 있어서 어느 방식이 더 효율적인지 분석한다.

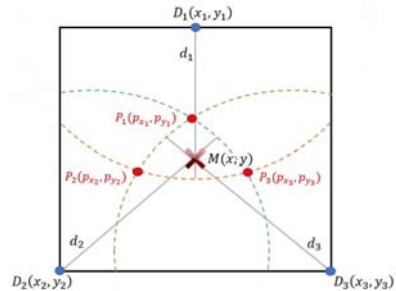


그림 5. RSSI 신호값의 에러에 따른 탐색 거리의 변화
Fig. 5. Change of Search Distance According to Error of RSSI Signal Value

$$P_{(x,y)} = \left(\frac{p_{x_1} + p_{x_2} + p_{x_3}}{3}, \frac{p_{y_1} + p_{y_2} + p_{y_3}}{3} \right) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} P_x &= \sqrt{\frac{(x - p_{x_1})^2 + (x - p_{x_2})^2 + (x - p_{x_3})^2}{3}} \\ P_y &= \sqrt{\frac{(y - p_{y_1})^2 + (y - p_{y_2})^2 + (y - p_{y_3})^2}{3}} \end{aligned} \quad (4)$$

III. 실종자 탐색 알고리즘

3.1 시뮬레이션 시스템 구조도

본 논문에서 제안하는 다중드론 실종자 탐색 시뮬레이션의 구조도는 그림 6과 같다. DroneKit-SITL을 활용하여 최대 4대의 가상 드론 인스턴스를 생성하며, 각각의 드론 인스턴스들은 MAVLink protocol을 통해 Base Station과 UDP 패킷 통신을 한다. Base Station에서는 GCS 프로그램인 Mission Planner를 활용하여 MAVLink 메시지로 전달되는 드론의 동작 및 상태 정보를 실시간으로 확인한다. 또한 DroneKit-Python API를 활용하여 다중드론 제어 어플리케이션을 제작하며, Python 코드로 제작된 실종자 추적 알고리즘에 따라 다중드론의 동작을 제어한다. 2단계 탐색 알고리즘에서 LoRa 신호 세기에 따른 드론의 이동 방향 설정에 대한 기본 알고리즘은 선행 연구인 “LoRa 통신을 이용한 실종자 드론탐색 단계별 알고리즘 구현”^[10]의 내용을 참조하였다. 기존의 연구에서는 단순히 LoRa 비콘의 신호 세기를 바탕으로 탐색 지점을 설정하지만 본 논문에서는 RSSI 정보를 활용한다고 구체화하였으며, 단일 드론을 활용하여 실종자 위치 좌표를 탐색하는 기존의 논문과 달리, 다중드론을 활용하여 신호 세기의 측정 및 삼변 측량법을 활용한 실종자 위치 좌표의 분석을 수행하여 기존

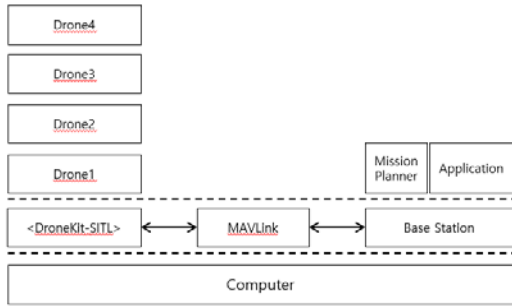


그림 6. 다중 드론 시뮬레이션 시스템 구조도
Fig. 6. Multi-drone Simulation System Structure

의 연구를 발전시켰다.

3.2 실종자 탐색 알고리즘

3.2.1 1단계 탐색 알고리즘

1단계 탐색 알고리즘은 LoRa 비콘으로부터 실종자에게 부착된 LoRa 비콘의 GPS 정보가 패킷 손실 없이 드론에 결합된 LoRa 중계기에 안정적으로 수신되는 경우에 적용된다. 우선, 그림 7의 순서도와 같이, Base Station에서 드론과의 최대 통신 반경(2km)을 기준으로 그리드영역으로 이동 경로를 세분화하여 경로를 따라 탐색하도록 명령을 내린다. 드론이 안정적으로 자율비행을 수행하는 동안, Base Station에서는 연결된 게이트웨이를 통해 LoRa 중계기로 전달되는

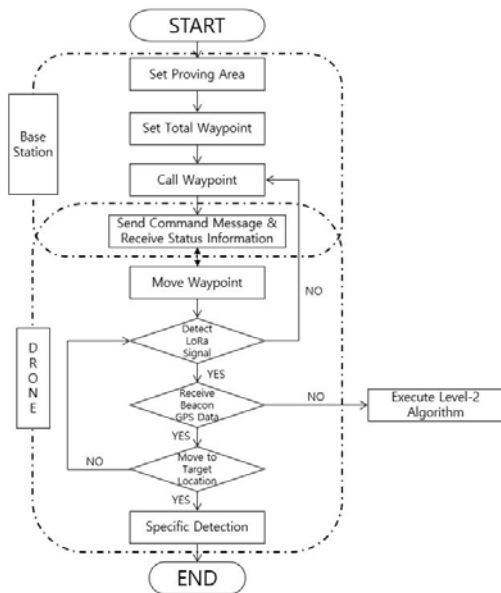


그림 7. 1단계 탐색 알고리즘 흐름도
Fig. 7. Level-1 Search Algorithm Flowchart

LoRa 비콘 신호를 주기적으로 감지한다. 실종자의 GPS 정보가 포함된 패킷이 성공적으로 감지된 경우, Base Station에서는 해당 지점으로 드론을 이동시켜 영상장치 등을 활용하여 추가적인 실종자 탐색을 수행한다. 만약 LoRa 비콘 신호는 감지하였지만 GPS 정보가 정상적으로 수신되지 않을 경우, 2단계 탐색 알고리즘을 수행한다.

3.2.2 2단계 탐색 알고리즘

그림 8은 2단계 탐색 알고리즘의 순서도를 나타내며, 수신된 비콘 신호에서 GPS 정보를 획득하지 못한 경우에 2단계 탐색 알고리즘을 수행한다. 시뮬레이션 초기에는 1단계 알고리즘과 동일하게 다중드론이 각 영역으로 전개되지만, 특정 드론이 GPS 정보가 누락된 LoRa 비콘 신호를 감지하게 되면, 그림 9과 같이 비콘 신호가 감지된 영역에 집중적으로 다중드론을 전개된다. 선행 연구¹⁰⁾에서는 LoRa 신호세기를 바탕으로 탐색 지점을 수신하지만 본 논문에서는 보다 구체적으로 드론에 부착된 LoRa 중계기에 수신된 LoRa 비콘의 RSSI 신호값을 활용하며, RSSI 신호에 대응하는 거리 값들을 (2)의 식에 대입하여 실종자의 위치 좌표를 계산하기 위해서는 최소 3개의 탐색 지점이 필요하다. 그림 9과 같이 3대 이상의 다중드론이 동시에 전개된 경우에는 각 드론이 수신한 비콘 신호의 RSSI 거리 값으로 실종자 위치 좌표를 실시간으로 계산한다. 만약, 3대 미만의 드론으로 2단계 탐색 알고리즘을 수행할 경우, 시간 및 거리차를 두고 이동 경

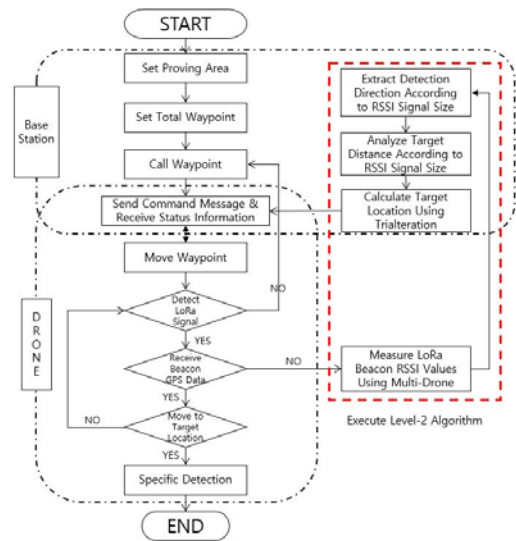


그림 8. 2단계 탐색 알고리즘 흐름도
Fig. 8. Level-2 Search Algorithm Flowchart

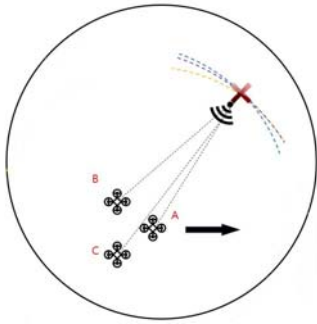


그림 9. 다중드론을 활용한 2단계 정밀 탐색
Fig. 9. Level-2 Precision Search for Missing Person Using Multi-Drone

로를 설정하여 서로 다른 세 지점에서 비콘 신호를 측정하도록 한다.

그러나 그림 9와 같이 3대의 다중드론을 전개하였어도 일부 드론만 LoRa 비콘 신호를 수신한다면 실종자 탐색을 위한 삼변측량법을 적용할 수 없다. 이 경우, 그림 8의 순서도를 따라 처음 비콘 신호가 수신된 지점을 중심으로 주변 지역에 대한 RSSI 신호 분포를 측정하여 신호 크기 차이에 따른 실종자 위치 방향을 탐색한다. 예를 들어 그림 10과 같이 3대의 드론 중에 A드론만 붉은 선으로 표시된 비콘의 전파 범위에 포함될 경우, 드론 B와 C는 실종자 비콘의 RSSI 신호 값을 감지하지 못하기 때문에 실종자의 위치좌표를 계산할 수 없다. 이를 해결하기 위해 B와 C드론은 A드론의 주위를 비행하여 비콘 신호를 측정하고 Base Station에서는 수신된 비콘 신호의 크기 차이를 분석하여 실종자 위치에 대한 방향을 추론한다. 이후 처음 비콘 신호를 수신한 지점(A)을 기준으로 해당 방향으로 이동하면서 모든 드론이 비콘 신호를 수신하도록 한다.

모든 드론이 성공적으로 비콘 신호를 수신하게 되

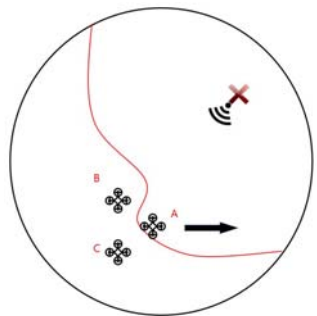


그림 10. 일부 드론만 비콘 신호를 수신하는 상황
Fig. 10. A Situation Where Only a Few Drones Receive a Beacon Signal.

면, 비콘 신호의 RSSI 거리 값을 데이터베이스로부터 호출하여 (2)의 공식에 대입함으로써 실종자 위치 좌표를 계산한다. RSSI 신호 값에 오차가 발생하여 정확한 위치 좌표가 계산되지 않을 경우, II-7에서 제시한 평균값과 RMS 방식을 활용하여 대략적인 실종자의 위치 좌표를 도출하며, 실제 실종자의 위치 좌표를 특정할 수 있는 신뢰도를 획득할 때까지 해당 과정을 반복한다.

IV. 성능평가

4.1 시뮬레이션

4.1.1 실종자 위치와 드론 비행경로 설정

실종자의 위치는 그림 11과 같이 무작위 [A-H]의 위치에 있음을 가정하였으며, 단일(1대)드론과 다중(4대)드론으로 경우를 나누어 1단계 탐색 알고리즘을 통한 실종자 탐색시간의 효율성과 2단계 탐색 알고리즘을 통한 실종자 위치 좌표의 정확성에 대해 시뮬레이션 하였다.

드론이 비행할 지역은 그림 12와 같이 Base Station을 중심으로 드론 통신을 위해 사용되는 Radio Telemetry 모듈의 유효통신 거리인 2km를 반경으로 하는 원형 모양으로 설정하였다. 영역 내 세부 이동경로는 정사각형 모양의 그리드 영역으로 나누어 드론이 그리드 영역을 따라 이동하도록 설정하였다.

1단계 알고리즘의 시뮬레이션에서 드론이 이동하는 그리드영역은 그림 13과 같이 비콘 신호의 유효 전파 거리를 반경으로 그린 가상의 원에 내접하는 정사각형의 집합으로 구성하였다. 1단계 알고리즘에서 전제로 하는 비콘 신호의 전파 거리는 실제 통신환경에

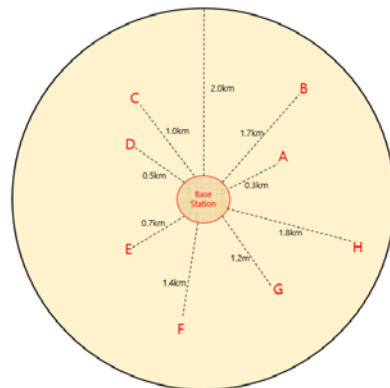


그림 11. 드론 탐색 지역과 실종자 위치
Fig. 11. Drone Search Area and Missing Person Location

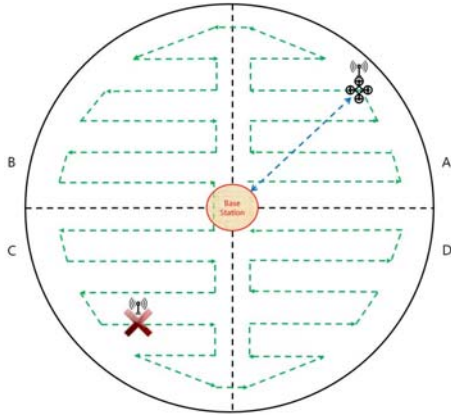


그림 12. 단일 드론의 탐색 경로
Fig. 12. The Search Path of a Single Drone

따라 다양하게 변할 수 있으나 본 논문에서는 최소 신호 전파 거리를 100m로 설정하여 이에 해당하는 그리드 영역을 구성하였다.

2단계 알고리즘의 시뮬레이션에서는 비콘 신호의 RSSI 값과 전파 거리 값이 표 2와 같이 제시되어 있으나 기본 이동경로는 1단계 알고리즘과 동일하게 전개되기 때문에 기존의 이동 경로를 그대로 사용하였다. 다만, 단일 그리드 영역의 크기를 정밀 이동을 위해 가장 작은 크기인 $140 \times 140m^2$ 으로 고정하였다.

그림 12는 단일 드론의 이동 경로 도식을 나타낸다. 모든 드론의 활동 영역은 4등분으로 나뉘며, 단일 드론의 경우 A영역에서 시작하여 이동 경로를 따라 B->C->D 영역으로 이동하면서 실종자 탐색을 수행한다. 구간별 드론의 최대 비행속력은 54km/h로 설정하였다.

다중드론의 경우 그림 14와 같이 4대의 드론이 각

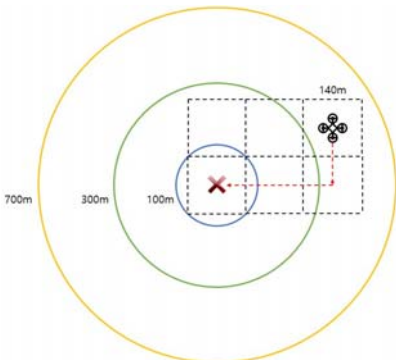


그림 13. LoRa 비콘 신호 유효 통신 거리 및 그리드 영역 생성
Fig. 13. LoRa Beacon Signal Effective Communication Distance and Generation of Grid Area

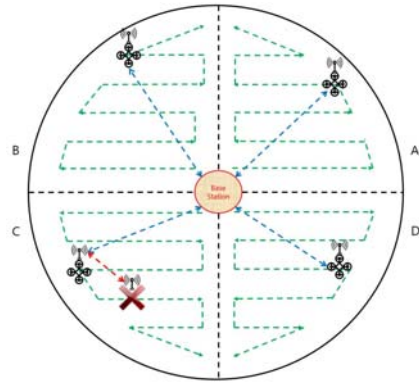


그림 14. 다중 드론의 탐색 경로
Fig. 14. The Search Path of a Multi-Drone

표 2. 거리에 따른 RSSI 신호 값 분포의 국내 실측 자료
Table. 2. Domestic Actual Data of Distribution of RSSI Signal by Distance

Distance (km)	RSSI Mean (dBm)	Distance (km)	RSSI Mean (dBm)
0.27	-94.3	0.27	-102.7
0.3	-102.6	0.3	-102.8
0.64	-117.1	0.64	-116.8
0.96	-121.3	0.7	-117.1
1.4	-122.0	0.98	-121.0
1.56	-123.0	1.34	-124.1

각 4개의 영역으로 분산되어 실종자 탐색 임무를 수행하게 된다. 기본적으로 A 영역에 대한 단일드론과 다중드론의 이동 경로는 동일하며, A영역에서 실종자를 발견하지 못한 경우, 단일드론은 B영역으로 넘어가서 임무를 계속 수행하지만 다중드론 전개 상황의 경우, A 영역을 담당하는 드론은 탐색을 마치고 Base Station으로 복귀한다는 차이점이 있다.

4.1.2 LoRa 센서 네트워크 데이터베이스 설정

LoRa 비콘을 활용한 실종자 탐색을 수행하기 위하여, 1단계 탐색 알고리즘에서는 실종자의 GPS 정보를 활용하기 때문에 실종자 위치로부터 얼마나 떨어진 지점에서 GPS 정보가 포함된 LoRa 비콘 신호를 수신하였는지가 중요하다. 그러나 이는 통신 환경마다 다를 수 있기 때문에 본 논문에서는 100m, 300m, 700m의 세 가지 경우로 나누어 시뮬레이션 하였다. 한편, 통신 환경이 좋지 않아 GPS 정보를 수신할 수 없는 상황에서는 비콘 신호의 RSSI 값을 활용하는 2단계 탐색 알고리즘을 적용하여 실종자의 위치를 계산한다. 따라서 시뮬레이션 상에서 드론이 비콘 신호의 RSSI

값을 측정하기 위해서는 거리별 RSSI 값에 대한 데이터베이스가 사전에 구축되어 있어야 한다. 이를 위해, 본 논문에서는 표 2의 국내 NLoS 환경에서 센서 노드 간의 RSSI 신호 값을 측정한 실측자료를 활용하여 데이터베이스를 구축하였다. 표 2의 RSSI 데이터 측정은 수신기는 한 자리에 고정되어 있고 발신기가 여러 지점으로 이동하면서 측정되었기 때문에 두 지점 사이의 RSSI 신호 분포 패턴은 정확하게 알 수 없었다. 이러한 문제를 보완하기 위해 본 논문에서는 그림 15와 같이 거리별 RSSI 신호 값을 선형으로 연결하여 사이 값을 설정하였다.

신호 전달 거리에 따른 RSSI 신호 값의 감소 패턴을 분석한 관련 모델을 참고하면, RSSI 신호 값은 센서 노드와의 통신 거리가 길어질수록 감소하는 양상을 나타낸다.^[11] 이러한 사실을 기반으로 측정 지점 사이의 RSSI 신호 값은 항상 동일할 것이라는 아이디어는 배제하였으며, 두 지점 사이의 RSSI 신호 값이 일정하게 감소한다고 가정하여 실종자 위치좌표를 계산하였다.

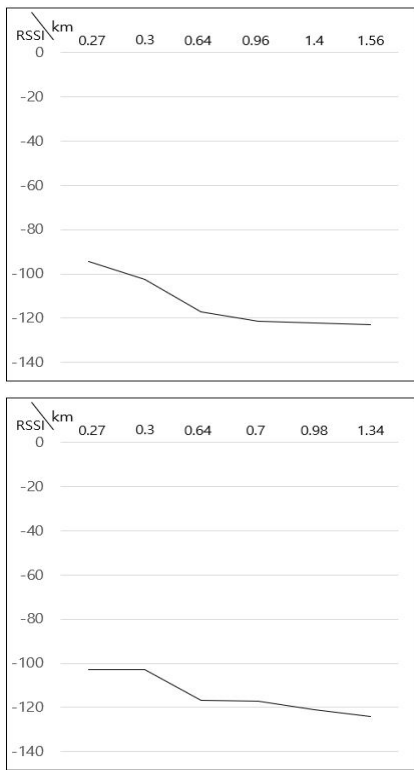


그림 15. 국내 LoRa 비콘 신호 실측 자료의 분포도 설정
Fig. 15. The Distribution of Domestic Measurement Data of LoRa Beacon Signal

4.1.3 1단계 탐색 알고리즘 시뮬레이션

1단계 탐색 알고리즘의 시뮬레이션은 LoRa 비콘의 GPS 정보가 패킷 손실 없이 전달됨을 전제로 하며 단일 및 다중드론을 활용한 실종자 탐색시간의 효율성을 알아보는 것이 목적이다. 하지만 패킷 손실이 없다고 해도, 실종자 주변의 통신환경에 따라 비콘 신호의 유효통신 거리가 달라질 수 있다. 이에 따라 본 논문에서는 IV-1-2)에서 설명한 것과 같이 유효통신 거리를 100m, 300m, 700m로 가정하여 1단계 탐색 알고리즘을 시뮬레이션 하였다. 이론상 LoRa 비콘 신호의 수신거리는 통신 환경에 따라 10km가 넘지만 재난 및 재해 상황에서는 비콘 신호의 통신환경이 좋지 않으며, 자율 비행이 가능한 드론의 비행 영역이 반경 2km로 제한적이기 때문에 전파 거리를 1km 미만으로 가정하였다.

4.1.4 2단계 탐색 알고리즘 시뮬레이션

2단계 탐색 알고리즘의 목적은 RSSI 신호 값만 수신되는 상황에서 사전에 측정된 거리별 RSSI 분포도를 활용하여 실종자 위치를 정확하게 분석하는 것이다. 본 시뮬레이션에서는 이상적인 RSSI 신호의 분포가 Okumura-Hata 모델을 따르며, 사전에 측정한 비콘 발신기와 수신기의 RSSI 신호 분포가 그림 15와 같다고 가정한다. 이후 해당 데이터를 활용하여 계산한 실종자의 위치가 실제 위치와 비교했을 때, 얼마만큼의 오차가 발생하는지 파악하는 것이 2단계 시뮬레이션의 목적이다.

2단계 탐색 알고리즘의 시뮬레이션은 다중드론과 단일드론으로 경우를 나누어 진행한다. 다중드론은 실시간으로 수신되는 RSSI 신호 값들의 크기를 비교 및 분석하여 실종자 위치 방향을 탐색하며, 모든 드론이 RSSI 신호 값을 수신하게 되면 RSSI 신호 크기에 대한 거리 값에 삼변측량법을 적용하여 실종자의 위치 좌표를 계산한다. 단일드론의 경우, 실종자 비콘으로부터 LoRa 비콘 신호를 수신하게 되면 해당 지점을 기준으로 주변 지역을 탐색하여 LoRa 비콘의 RSSI 신호 값을 수신한다. 최소 3개 이상의 지점에서 수신된 RSSI 데이터들을 기반으로 실종자의 위치 방향을 예측하고 해당 방향으로 이동하면서 측정된 RSSI 신호 값에 대응하는 거리 값에 삼변측량법을 적용한다. 삼변측량법의 적용에 있어서, 측정된 RSSI 거리 값과 드론의 위치를 중심으로 원을 그렸을 때, 세 원이 만나지 않는 경우는 배제하였다. 삼변측량의 기본 원리는 세 원이 만나야 위치를 측정할 수 있기 때문에 공식 적용할 수 없는 경우에는 드론을 이동시켜 유효

한 값을 얻을 수 있도록 처리하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

4.2.1 1단계 탐색 알고리즘

그림 16은 1단계 탐색 알고리즘을 적용하여 실종자 탐색을 수행한 탐색 시간을 나타낸다. 그림 12-13에서 나타나듯이, 1단계 탐색 알고리즘에서 A영역에서 임무를 수행하는 단일 및 다중드론의 이동 경로는 동일하였다. 그러나 그림 16에서 실종자 A, B에 대한 단일 및 다중드론의 위치 탐색 시간은 0.1분미만의 근소한 차이가 나타난다. 이는 시뮬레이션 상에서 드론의 방향 전환, LoRa 비콘 신호의 수신, 그리고 가속 및 감속하는 데 소모되는 시간이 항상 일정하지 않기 때문으로 추론된다. 나머지 [C-H] 실종자의 탐색에 대해서 단일드론은 1대의 드론이 전체영역을 이동하기 때문에 실종자 탐색 시간이 지속적으로 증가하였다. 예외적 상황으로는 신호 전파 거리가 300m일 때, 실

종자 C에 대한 탐색 시간이 전파거리가 100m일 때에 비해 감소하였으며, 700m일 때는 실종자 D와 E의 탐색 시간이 이전에 실종자에 비해 감소하였음을 알 수 있다. 이는 비콘 신호의 유효 전파 거리가 증가함에 따라 드론의 실종자 탐색 범위가 넓어져 Base Station에 가까이 위치해 있던 실종자 C 및 D, E의 비콘 신호가 이전에 비해 빠르게 감지되었기 때문이다.

다중드론은 4대의 드론이 4개의 영역으로 동시에 전개되어 탐색을 수행하기 때문에 단일드론보다 실종자 탐색시간이 적게 소모되었으며, 탐색에 소요된 최대 비행시간은 28분 미만이었다. 구체적으로 다중드론의 탐색 시간은 단일드론에 비해 유효 신호 전파 거리에 따라 100m일 때, 5.46배, 300m일 때, 10.84배, 700m일 때, 14.83배 더 빨랐다. 평균적으로는 다중드론을 활용한 실종자 탐색이 10.38배 더 빨랐다. 결론적으로 다중드론을 활용한 실종자의 탐색은 재난 상황에서 한사람이 1대의 드론을 조종하여 실종자를 탐색하는 방법보다 빠르게 인명을 구조할 수 있으며, 한 사람이 여러 대의 드론을 조종한다는 점에서 인력 운용의 효율성을 높이는 추가 효과를 기대할 수 있다.

4.2.2 2단계 탐색 알고리즘

그림 17-18는 2단계 탐색 알고리즘을 적용하여 실종자 탐색을 수행한 결과 값을 나타낸다. 시뮬레이션을 위한 데이터베이스는 표 2의 국내 실측자료 2가지를 활용하였으며, 측정 지점 사이의 RSSI 값의 분포는 그림 15와 같이 선형으로 균일하게 감소한다고 가정하였다. 그림 17은 그림 15의 첫 번째 데이터를 기반으로 시뮬레이션을 수행한 결과이며, 그림 18은 두 번째 데이터를 활용하였다.

서로 다른 3개의 지점에서 감지한 비콘 신호의 RSSI 값으로 실종자 위치 좌표를 계산한 결과, 그림 5와 같이 RSSI 신호 값의 오차로 인하여 실종자 위치와 다른 좌표가 계산되었다. 실종자 위치 좌표의 정확성을 높이기 위해, 여러 지점에서 계산된 실종자 위치 좌표에 평균값 또는 RMS(Root Mean Square) 방식을 적용하여 오차가 최소화 되는 실종자 위치 좌표를 계산하였으며, 그림 17-18의 오차거리는 계산된 실종자의 위치좌표와 실제 실종자 위치좌표 사이의 거리차를 나타낸다.

2단계 탐색 알고리즘에 적용된 데이터베이스의 신호 전파 거리는 1km 이상이었으나 정확한 실종자의 위치를 모르기 때문에 감지 후 목적지점으로 바로 이동하는 1단계 탐색 알고리즘과는 달리, RSSI 신호 값을 바탕으로 실종자 위치 좌표를 계산하고 해당 지점

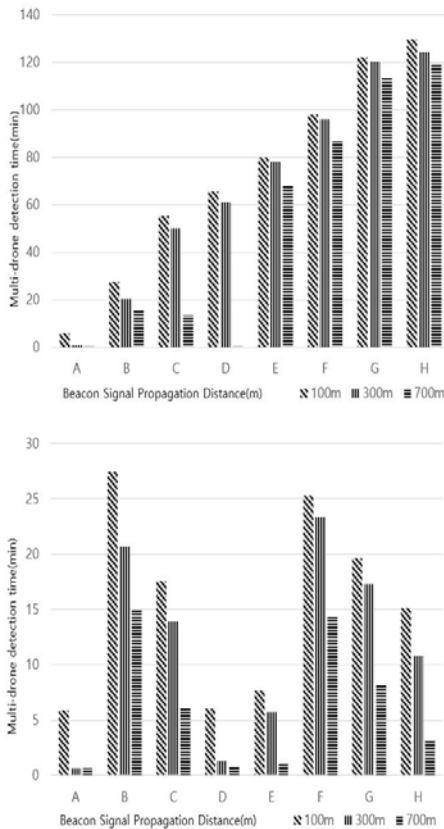


그림 16. 1단계 알고리즘의 탐색 시간 비교 (상 : 단일, 하 : 다중)
 Fig. 16. Comparison of Search Time of Level-1 Algorithm (Top : Single, Down : Multi)

으로 이동하여 재탐색을 수행하는 과정이 빈번하게 발생하였다. 또한 처음에는 4개의 드론이 각 영역으로 분산되어 실종자를 탐색하기 때문에 실종자 비콘 신호를 감지한 후에 다중드론 편대 구축을 위한 대기 시간이 발생하였다. 일부 지점에서 비콘 신호를 감지하여 평균값과 RMS 방식으로 계산한 실종자 위치 좌표값의 오차 값이 1000m 이상인 경우도 발생하였다. 이 경우는 여러 상황으로 처리하여 재탐색을 수행하였다.

실종자 위치 좌표의 계산에 있어서 2개의 데이터베이스를 기준으로 8명씩 총 16번의 실종자 탐색 임무를 수행한 결과 RMS를 활용한 방식이 전체 중 62.5%의 빈도수로 Mean 방식보다 오차거리가 짧았다. Mean 값의 오차거리가 RMS 방식의 결과 값보다 짧은 경우, 그 크기는 최대 5.8m 더 짧았으며 최대 값을 제외한 나머지 값들은 모두 5m 미만이었다. 이러한

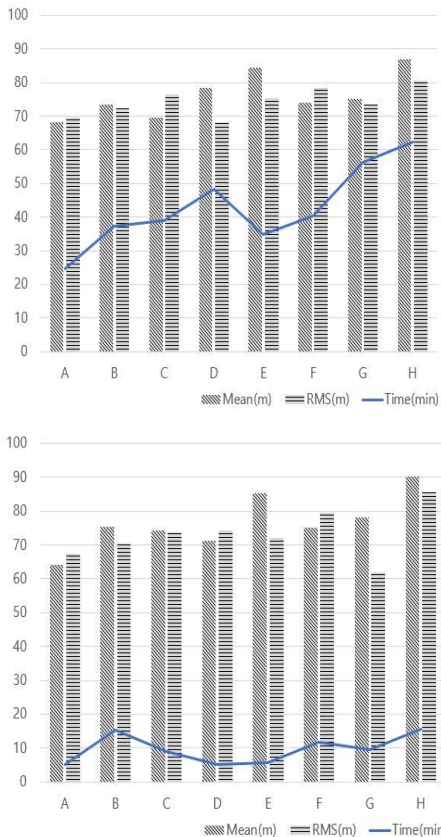


그림 17. 2단계 탐색 알고리즘의 탐색 시간과 그림 15의 첫 번째 데이터베이스를 활용했을 때의 실종자 탐색 지점 오차 (상 : 단일, 하 : 다중)
Fig. 17. Level-2 Search Algorithm's Search Time and The Error of The Missing Persons Search Point When Utilizing The First Database in Figure 15. (Top : Single, Down : Multi)

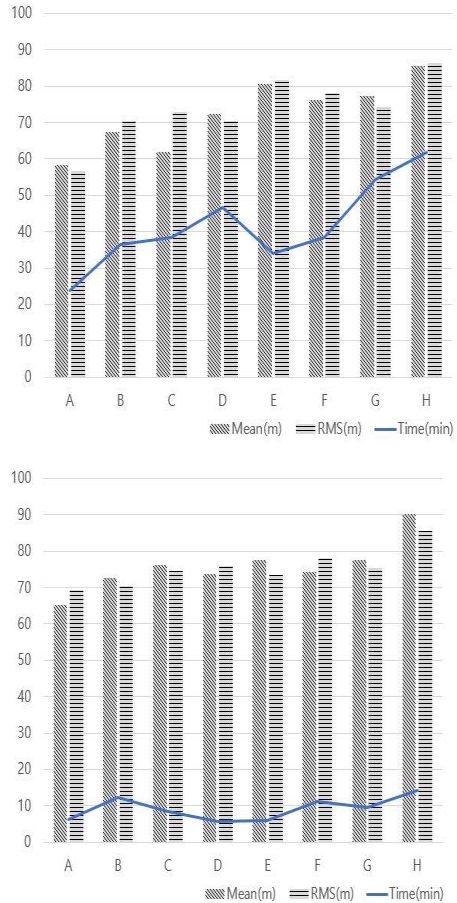


그림 18. 2단계 탐색 알고리즘의 탐색 시간과 그림 15의 두 번째 데이터베이스를 활용했을 때의 실종자 탐색 지점 오차 (상 : 단일, 하 : 다중)
Fig. 18. Level-2 Search Algorithm's Search Time and The Error of The Missing Persons Search Point When Utilizing The Second Database in Figure 15. (Top : Single, Down : Multi)

결과는 IV-1-라)에서 측정된 실종자 RSSI 신호를 탐지한 드론의 위치에 따른 거리 값이 보다 균일하게 분포되었기 때문으로 추론된다. 반면, RMS 방식은 Mean 방식보다 최대 16.4m (Mean 결과 값의 79% 수준) 까지 더 짧은 오차거리를 나타냈으며, 측정값들 중 60% 정도가 5m 이상으로 RMS를 활용한 방식이 Mean 방식보다 더 정확도가 높다는 것을 알 수 있다. 그리고 2단계 탐색 알고리즘의 탐색속도는 다중드론이 단일드론보다 평균 5.06배 더 빨랐다.

V. 결론

본 논문에서는 LoRa 센서 네트워크와 다중드론을

활용하여, 재해 및 재난 상황에서 실종자 탐색 방법에 대한 알고리즘을 고안하였다. 더불어 다양한 통신 환경을 가정으로 단계별 탐색 알고리즘을 적용하여 실종자 탐색 시뮬레이션을 수행함으로써 예상되는 문제점과 해결방안을 모색해보았다. 기본적으로 다중드론을 활용한 실종자 탐색이 단일드론을 활용한 실종자 탐색보다 시간적 효율성은 더 크지만, 실제 재난 지역 탐색 시, 환경에 따라 다중드론을 전개하기 어려운 경우도 발생할 수 있기 때문에 운용하는 드론의 개수에 다양성을 두어 시뮬레이션의 범용성을 높이는 것에 목적을 두었다. 마찬가지로 단순한 GPS 데이터를 수신하여 실종자 위치를 탐색하는 1단계 탐색 알고리즘과 GPS 신호가 없는 상황에서 LoRa 비콘의 RSSI 신호 세기를 활용하여 실종자 탐색을 수행하는 2단계 탐색 알고리즘을 수행하여, 기본적인 탐색 알고리즘과 심화된 탐색 알고리즘의 차이를 알아보고자 하였으며, 2단계 탐색 알고리즘의 적용에 있어서 정확도와 사용 가능성에 대해 시뮬레이션 하였다.

References

[1] *DroneKit*, Retrieved Mar. 15, 2018, from <http://dronekit.io>.

[2] *DroneKit-SITL*, Retrieved Mar. 15, 2018, from http://python.dronekit.io/develop/sitl_setup.html.

[3] *MAVProxy*, Retrieved Mar. 15, 2018, from <http://ardupilot.github.io/MAVProxy/html/index.html>.

[4] *3DR Radio Telemetry 915MHZ Module For APM APM2*, Retrieved Mar. 14, 2018, from https://www.banggood.com/3DR-Radio-Telemetry-915MHZ-Module-For-APM-APM2-p-73539.html?cur_warehouse=CN.

[5] *MAVLink*, Retrieved Mar., 14, 2018, from <http://qgroundcontrol.org/mavlink/start>.

[6] *Mission Planner*, Retrieved Mar. 14, 2018, from <http://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html>.

[7] *LoRa Alliance*, Retrieved Mar., 20, 2018, from <https://www.lora-alliance.org/>.

[8] A. Gagneja, *Propagation Models*(2016), Retrieved Mar., 3, 2018, from <https://www.slideshare.net/AyushiGagneja/propagation-models>

[9] D. H. Yi and S. C. Kim, "Analysis of computer simulated and field experimental

results of LoRa considering path loss under LoS and NLoS environment," *J. KICS*, vol. 42, no. 2, pp. 444-452, Feb. 2017.

[10] K. Choi and J.-H. Kim, "A study on phased algorithm for drone to search missing person with LoRa devices" in *Proc. KICS ICC 2017*, pp. 1395-1396, Jun. 2017.

[11] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-29, no. 3, pp. 317-325. Aug. 1980.

현 만 석 (Man-seok Hyun)



2017년 2월 : 아주대학교 소프트웨어학과 졸업
 2017년 3월~현재 : 아주대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 석사과정
 <관심분야> 컴퓨터공학, 분산시스템, 드론, 블록체인

최 광 훈 (Kwang-hoon Choi)



2006년 2월 : 아주대학교 컴퓨터공학과 석사과정 이수
 2006년 3월~현재 : 아주대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> 분산이동컴퓨팅, 사이버물리시스템, 유비쿼터스

김 재 훈 (Jai-hoon Kim)



1984년 : Received the B.S degree in Control and Instrumentation Engineering, Seoul National University, Seoul, South Korea
 1993년 : Received the M.S. degree in Computer Science, Indiana University, USA

1997년 : Received Ph.D. degree in Computer Science, Texas A&M University, USA
 <Interests> Distributed Systems, Cyber-Physical Systems, Mobile Computing