

# 무인 이동체 간의 그룹 통신을 위한 BLE 다중 링크 구현 방안

이상연\*, 김명은\*, 손종권\*, 전지훈\*, 이강복\*

## Implementation of BLE Multi-Link for Group Communication between Unmanned Vehicles

Sang-yeoun Lee\*, Myung-eun Kim\*, Jong-kwon Son\*, Ji-hun Jeon\*, Kang-bok Lee\*

### 요약

무인 이동체인 드론은 다양한 분야에서 적용되고 있으며 특히 통신 인프라가 부족한 재난 안전과 군사 분야에서 군집 비행에 관한 관심이 높아지고 있다. 군집 비행으로 정찰 또는 인명 탐색 같은 임무를 드론 간의 협력으로 짧은 시간 내에 마칠 수 있는 이점이 있다. 통신 인프라가 부족한 재난 상황에서 안전한 군집 형태를 이루기 위해서는 드론 간의 통신이 필요하며 또한, 드론과 주변 IoT 장치 간의 통신 기능으로 재난 상황에 대한 많은 정보를 취득할 수 있는 이점이 있다. 본 논문에서는 드론 간의 통신 및 드론과 주변 IoT 장치 간의 동적인 메쉬 구조의 통신을 제공하기 위하여 그룹 통신 모듈로 구성된 BLE 애드혹 망을 구축하여 그룹 통신 모듈 간의 통신 시험과 그룹 통신 모듈과 IoT 장치 간의 통신 시험을 통하여 그 가능성을 보였다.

**Key Words** : Swarm, Unmanned Vehicles, Drones, Group communication, BLE, Dynamic Ad-hoc network

### ABSTRACT

Drones like unmanned vehicles are applied in various fields, and there is a growing interest in swarm flight in the areas of disaster safety and military where there is a lack of communication infrastructure. There is an advantage in that a swarm flight can complete a task such as reconnaissance or search for a person in a short time by cooperation between drones. Communication between drones is necessary to achieve safe swarm in a disaster situation where communication infrastructure is scarce. Also, the communication function between drones and surrounding IoT devices has the advantage of obtaining a lot of information about the disaster situation. In this paper, we showed the possibility through the communication test between the group communication module and the communication test between the group communication module and the IoT device through BLE ad hoc network composed of group communication modules in order to provide a dynamic mesh network to the drone.

### 1. 서론

무인 이동체인 드론은 방송촬영, 통신중계, 농업, 정찰, 배송, 레저 등의 다양한 서비스 분야에 적용이

되고 있으며 특히 통신 인프라가 부족한 재난 안전 분야의 인명 구조 및 군사 분야의 정찰 등의 목적으로 군집 비행에 관한 관심이 높아지고 있다. 현재 무인 이동체를 이용한 다양한 군집 비행 기술이 선보이고

\* 본 연구는 한국전자통신연구원 연구운영비지원사업의 일환으로 수행되었음 [19ZH1100, 초연결 공간의 분산 지능 핵심원천 기술]

\*° First and Corresponding Author: Electronics and Telecommunications Research Institute, lseyoun@etri.re.kr, 정희원

\* Electronics and Telecommunications Research Institute, {mekim, whdrnjs86, jh5004, kblee}@etri.re.kr

논문번호 : 201911-257-B-RU, Received October 30, 2019; Revised November 21, 2019; Accepted November 26, 2019

있으며, 이러한 군집 비행 기술을 적용함으로써 제한된 자원을 가진 단일 이동체가 수행하기 어려운 임무를 수행하거나 정찰과 인명 탐색 등의 임무를 무인 이동체 간의 협력으로 짧은 시간 내에 마칠 수 있는 이점이 있다. 통신 인프라가 부족한 재난 상황에서 안전한 군집 형태를 이루기 위해서는 드론 간의 통신이 필요하며 또한 드론과 주변 IoT 장치 간의 통신 기능으로 재난 상황에 대한 좀 더 많은 정보를 취득할 수 있는 이점이 있다.

현재의 무인 이동체의 통신 시스템은 크게 LTE와 WLAN을 이용한 드론 제어 및 지상관제 시스템(GCS, Ground Control System)과의 통신에 중점을 두고 있으며 드론 간의 통신에 대한 이슈는 아직 부족한 상태이다. 본 논문에서는 지상관제 시스템과의 통신과는 별도로 임무의 정보 공유를 위한 드론 간의 통신 및 드론과 IoT 장치 간의 통신을 지원하기 위해서 저전력 통신인 BLE 통신을 기반으로 하는 동적인 다중 링크 통신을 지원하는 그룹 통신 모듈을 구현하였다. 그룹 통신 모듈의 시험은 실제 드론에 부착한 비행 시험보다는 그룹 통신 모듈로 구성된 BLE 애드혹 망을 구축하여 그룹 통신 모듈과 IoT 장치 간의 동적인 매쉬 구조의 다중 링크 기능 검증 및 통신 시험 위주로 진행하였다.

## II. 본 론

무인 이동체인 드론은 원격 조종이 가능하여 산업 및 민간 등의 다양한 분야에서 적용하고 있으며 최근에는 드론에 GPS, 카메라, Lidar, Radar, 고도계 등의 다양한 센서 기기들을 부착한 드론과 드론에 고성능의 프로세서를 탑재한 드론이 출시되어 드론에 많은 능력이 주어지고 있다. 이러한 드론을 활용하여 재난 상황에서 인명 구조 및 군사 분야에서 정찰 등의 목적으로 드론들이 군집 형태를 이루어 해당 경유지 및 목적지에 도달하게 하는 연구<sup>1)</sup>와 군집 형태를 이루기 위해서 드론에 시각적 관성 거리계(VIO, Visual Inertial Odometry)를 설치하여 드론 간의 충돌을 회피하여 군집 비행을 유지하는 연구<sup>2)</sup>가 있다. 이러한 군집 형태의 드론들은 경유지 및 목적지와 영상 정보 전송을 위하여 지상관제 시스템과 무선통신만을 지원하고 있으며 드론 간의 통신 및 드론과 다른 IoT 장치 간의 통신에 대해서 자세히 다루어지지 않고 있다<sup>3)</sup>.

무인 이동체인 드론을 원격제어하거나 영상 정보를 얻기 위해서 드론과 지상관제 시스템 간의 무선통신으로 블루투스, WiFi, 위성통신, 셀룰러 시스템, LTE,

및 5G LTE 등 많은 기술이 소개되었으며 현재는 WiFi와 LTE가 많이 적용되고 있다. 이러한 드론과 지상관제 시스템 간의 무선통신 이외에도 그림 1과 같이 드론과 드론 간의 무선통신 토폴리지를 형성하여 데이터 전달을 위한 이종의 애드혹 망(FANET, Flying Ad-Hoc Network)에 대한 제안<sup>4)</sup>이 있다. 드론과 지상관제 시스템 간의 통신은 WiFi로 구성되며 드론 간의 통신은 블루투스로 구성된 이론적인 애드혹 망의 제안이 그 일례이며 드론 간의 데이터 및 데이터 포워딩에 대한 정의가 아직 논의 중인 상태여서 실제 구현은 아직 이루어지지 않고 있다.

군집 비행은 정찰 또는 인명 탐색 같은 임무를 무인 이동체 간의 협력으로 짧은 시간 내에 마칠 수 있는 이점이 있다. 통신 인프라가 부족한 재난 상황에서 무인 이동체 간의 충돌을 방지하고 안전한 군집 형태를 이루기 위해서는 일정한 거리 유지를 위한 무인 이동체의 위치 정보와 무인 이동체의 한정된 자원으로 인한 임무 협력을 위한 임무 정보 교환을 위해서 무인 이동체 간의 통신이 필요하다<sup>5)</sup>. 드론의 배터리 용량은 보통 수천mAh이며, 비행을 위한 모터가 80%의 전력을 소모하고 온보드 프로세서 처리와 통신이 나머지 전력을 소모한다. 안전한 군집 비행 및 무인 이동체 간의 임무 협력을 위해서 일정한 근거리 유지와 수 mA 저전력 통신의 이점과 동적으로 애드혹 망 구성이 쉬운 이점 때문에 BLE 통신이 드론 간의 통신으로 주로 사용되고 있으며<sup>4,6)</sup>, 관제 시스템과의 통신은 현재의 WiFi 및 LTE 등의 통신을 그대로 사용한다.

인텔은 드론 간의 통신과 드론과 다른 장치 간의 통신을 지원하기 위해서 블루투스 Beacon 신호를 이용하여 드론의 현재 위치, 비행 방향 및 속도, 고도, 제조업체, 모델 등의 정보를 제공하여 무인항공시스템

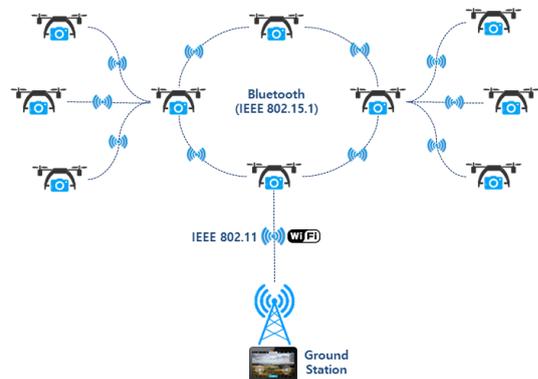


그림 1. FANET의 일례  
Fig. 1. Example of FANET

의 원격 식별 및 추적을 위한 방안을 제안하고 있다<sup>6)</sup>.

본 논문에서는 화재를 포함한 다양한 재난 상황에서 무인 이동체인 드론들이 안전한 군집 비행을 지원하고 재난 상황에 대한 많은 정보를 취득하기 위해서 동적인 매쉬 형태의 다중 링크 기능을 지원하는 BLE 그룹 통신 모듈을 구현하였다. 이러한 그룹 통신의 망 구조는 이론적인 FANET 망이 확장된 형태로 드론 간의 통신 이외에 드론과 주변 다른 IoT 장치 간의 통신 연결이 가능하다. 동적인 매쉬 형태의 망 구조는 그룹 중에 하나의 드론이 지상관제 시스템에서 전송한 데이터를 그룹 내에 있는 다른 드론으로 전달하는 것이 가능하며 또한, 지상관제 시스템이 그룹 내의 드론에 연결된 다양한 IoT 장치와 데이터 송수신이 가능함을 보였다.

2.1 무인 이동체를 이용한 애드혹 망의 구성

재난이나 전쟁 상황에서 기존의 인프라망이 파괴된 경우에 그림 1과 같이 무인 이동체를 이용한 무선 애드혹 망을 구성하는 것이 가능하다<sup>4,5)</sup> 7). 이러한 애드혹 망의 일례로 인프라가 부족한 상황에서 그림 2와 같이 군집 비행으로 구성된 드론들이 서로 간에 애드혹 망의 그룹을 구성하여 지상관제 시스템과 통신하는 드론과 IoT 장치 또는 요구조자의 스마트 폰과 BLE 통신으로 연결된 드론들로 그 역할을 분담하도록 구성할 수 있으며 재난 또는 군사 분야에서 다양한 서비스 시나리오에 적용할 수 있다.

무인 장치 간에 또는 무인 장치 내에서 서로 다른 내부 컴포넌트와 통신하기 위해 사용되는 Mavlink(Micro Air Vehicle Link) 프로토콜은 드론과 지상관제 시스템 간의 통신에 사용될 뿐만 아니라 드론 간의 통신에서도 사용된다. 그림 3은 그룹 통신을 지원하기 위해서 드론에 다중 링크 기능을 지원하는 BLE 그룹 통신 모듈을 새로이 추가하여 매쉬 형태의 망 구조를 구성한 일례이다. 본 논문에서는 이러한

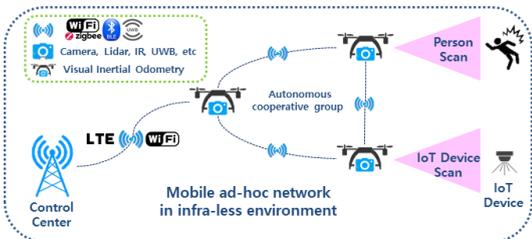


그림 2. 재난 상황에서의 통신 인프라가 부족한 애드혹 망의 구성  
Fig. 2. Ad hoc network with insufficient infrastructure in disaster

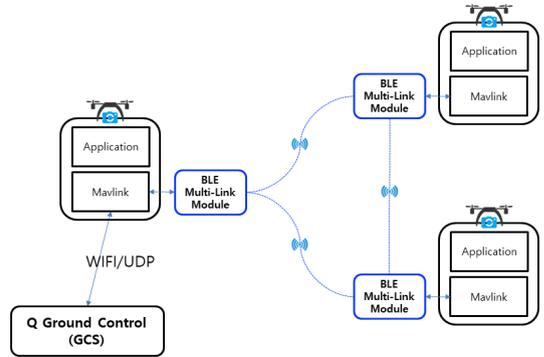


그림 3. 드론 간의 통신을 위한 BLE 그룹 통신 모듈의 일례  
Fig. 3. Example of BLE group communication module for communication between drones

BLE 그룹 통신 모듈을 구현하여 기존 드론에 추가함으로써 드론 간의 그룹 통신 및 드론과 IoT 장치 간의 통신이 가능함을 보였다.

2.1.1 구현된 BLE 그룹 통신 모듈

무인 이동체를 이용한 애드혹 망의 구성에서 각각의 드론들은 지상관제 시스템과 통신하기 위한 WiFi 및 LTE 통신은 기존에 부착된 장치를 그대로 사용하며 드론 간의 통신 및 드론과 주변 IoT 장치와의 통신은 다중 링크를 지원하는 BLE 그룹 통신 모듈을 개발하여 기존 드론 장치에 부착하는 형태로 구성하였다.

BLE 다중 링크를 지원하는 그룹 통신 모듈의 블록 구성도는 그림 4과 같이 두 개의 프로세서로 구성하였다. BLE 그룹 통신 모듈은 BLE 5를 지원하는 노르딕 프로세서(nRF52840)를 사용하였으며 Central 기능을 담당하는 프로세서와 Slave 기능을 담당하는 프로세서로 나누어져 있으며 각각의 프로세서는 서로 간의 데이터 전송을 위하여 이중의 SPI 인터페이스로 연결되도록 구성하였다.

이중 SPI 인터페이스를 사용한 이유는 단일 SPI 인

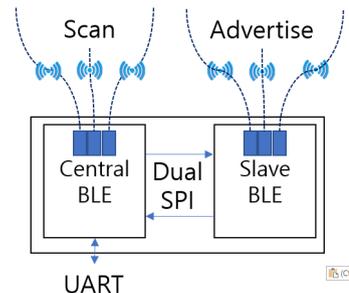


그림 4. BLE 그룹 통신 모듈의 블록도  
Fig. 4. Block Diagram of BLE Group Communication Module

터페이스를 사용할 때 SPI Slave 단에서의 데이터 손실률이 높아서 이러한 데이터 손실을 줄이기 위함이다. 이 중 SPI 인터페이스로 교환되는 데이터는 BLE 연결/해지 제어 정보, 라우팅 제어 정보 및 상위 데이터 등이 전송된다. 그리고 드론의 온보드 프로세서와 BLE 그룹 통신 모듈 간의 데이터 연결은 Central 프로세서의 UART 포트를 통하여 연결된다.

실제 제작된 BLE 그룹 통신 모듈은 그림 5와 같으며 그림 5(좌)는 인텔 Aero 드론에 부착하기 위한 외부 안테나를 사용하는 보드이며 그림 5(우)는 그룹 통신 모듈의 시험 편리성을 위해서 칩 안테나로 구성된 USB 형태의 보드이다.



그림 5. 구현된 BLE 그룹 통신 모듈  
Fig. 5. Implemented BLE Group Communication Module

### 2.1.2 그룹 통신 모듈을 인텔 드론의 적용 사례

구현된 BLE 그룹 통신 모듈과 인텔 Aero 온보드와 연결 블록도는 그림 6과 같이 구성되며 처음에는 UART 포트 연결을 인텔 Aero 드론의 Telemetry 포트를 사용하려고 하였지만, 해당 Telemetry 포트가 온보드의 FPGA를 통하여 인텔 Aero 비행 제어장치에 직접 연결되도록 구성되어 있으므로 그룹 통신 모듈과 온보드 프로세서 간의 연결이 불가하여 온보드의 USB3-OTG 포트에 직접 연결하도록 배치하였다. 온보드의 USB3-OTG 포트에 USB 커넥터로 구성된 쪽 보드를 제작하여 부착하고 쪽 보드와 그룹 통신 모듈과는 케이블로 연결하도록 구성하였다.

그룹 통신 모듈을 인텔 Aero 드론의 앞쪽 상단에 실제 부착하여 고정된 모습은 그림 7(좌)와 같으며

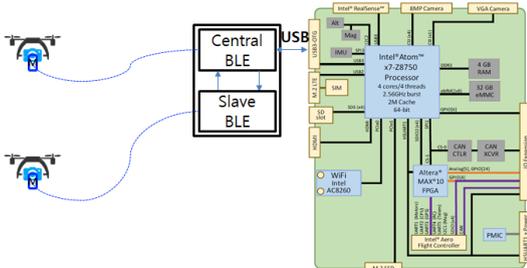


그림 6. 인텔 Aero 온보드와 그룹 통신 모듈 간의 연결 블록도  
Fig. 6. Connection block diagram between the Intel Aero onboard and group communication module

Central과 Slave 용 2개의 안테나는 드론의 양쪽 다리에 배치한 모습은 그림7(우)과 같다.

인텔 Aero 드론의 온보드인 인텔 Atom 프로세서와 그룹 통신 모듈과 UART 통신 기능과 혼잡 회피 기능을 추가하기 위해서 인텔 Atom 프로세서에 Ubuntu 16.04를 설치하였다. Ubuntu 리눅스에서 aero-get-version.py를 통하여 ttyUSB0로 그룹 통신 모듈이 연결된 정보를 보여준 창은 그림 8(좌)와 같으며 연결된 그룹 통신 모듈의 상태 정보는 그림 8(우)과 같이 정상적으로 연결 가능함을 보여주고 있다.

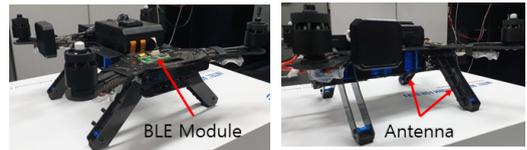


그림 7. 인텔 드론에 장착된 그룹 통신 모듈  
Fig. 7. BLE Group Communication Module in Intel Drone

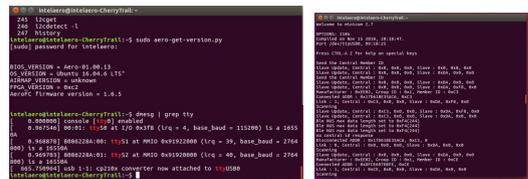


그림 8. 인텔 Atom 프로세서와 그룹 통신 모듈 간의 UART 통신  
Fig. 8. UART communication between Intel Atom processor and group communication module

### 2.1.3 그룹 통신 모듈의 포트 구성

Central과 Slave 프로세서는 각각 3개의 BLE 통신 포트를 지원하도록 설정하였으며 그룹 통신 모듈 전체는 6개의 BLE 통신 포트를 지원한다. Central 기능을 담당하는 프로세서는 온보드 프로세서와의 데이터 송수신 및 6개의 전체 BLE 포트를 관리하여 포트별 BLE 연결 상태를 제어하여 중복된 BLE 주소와 중복된 ID의 BLE 접속을 제어한다. BLE 그룹 통신 모듈 간에는 Member ID(1바이트)로 구분되며 MavLink의 System ID를 그대로 사용할 예정이며, 시험에서는 Central BLE 주소의 마지막 한 바이트를 Member ID로 사용하였다. 그룹 통신 모듈의 Central과 Slave 프로세서가 동일한 Member ID를 가진 그룹 통신 모듈과 이중으로 BLE 연결이 이루어졌을 때는 Member ID가 낮은 그룹 통신 모듈의 Central이 연결이 성공한 2개의 BLE 연결 중의 하나를 해지하는 규

칙을 모두 적용하여 그룹 통신 간에는 하나의 BLE 연결만이 유지되도록 하였다.

Slave BLE 프로세서는 Advertising 메시지의 Manufacturer Data에 Group ID와 Member ID를 포함하여 Advertising 메시지를 전송하도록 구현하였으며 Central 프로세서는 Scan을 통하여 Slave Advertising 메시지의 Group ID와 Member ID를 확인하고 BLE 연결 여부를 결정한다. Central BLE 프로세서는 BLE 연결이 성공한 이후에 Central의 Member ID를 상대방의 Slave에게 전송하여 Slave가 Member ID를 확인하는 메시지를 수신한 이후에만 정상적인 BLE 연결이 이루어진 것으로 판단하여 해당 포트의 Member ID를 갱신한다. 일정한 시간이 지나도록 확인 메시지가 수신되지 않으면 해당 BLE 연결은 강제 해지하도록 하였다.

노르딕 BLE 5는 데이터 페이로드 길이가 최대 247 바이트로 설정할 수 있으며 OPCODE (1바이트)와 HANDLE (2바이트)를 제외한 244바이트를 상위 데이터로 사용할 수 있다.

### 2.2 그룹 통신 모듈의 데이터 라우팅

그룹 통신 모듈 간에 사용되는 데이터 포맷은 그림 9과 같이 3바이트로 구성된 헤더 및 라우팅 정보와 241바이트의 상위 데이터로 구성된다. 헤더 바이트는 데이터와 제어 데이터를 구별하기 위해서 사용되며, 목적지 ID는 데이터가 최종 수신되어야 하는 Member ID이고 소스 ID는 데이터를 전송한 Member ID이다.

드론에서 사용되는 Mavlink 프로토콜과의 데이터 매핑은 그림 10과 같이 2개의 데이터로 나누어서 수행되며 데이터 매핑은 그룹 통신 모듈에서 수행하거나 상위 인텔 프로세서에서 수행할 수 있다.

그룹 통신 모듈의 데이터 라우팅은 그림 11과 같이



그림 9. 데이터 포맷  
Fig. 9. Data Format

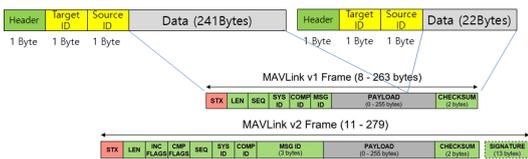


그림 10. Mavlink 프로토콜과의 데이터 매핑  
Fig. 10. Data Mapping with Mavlink Protocol

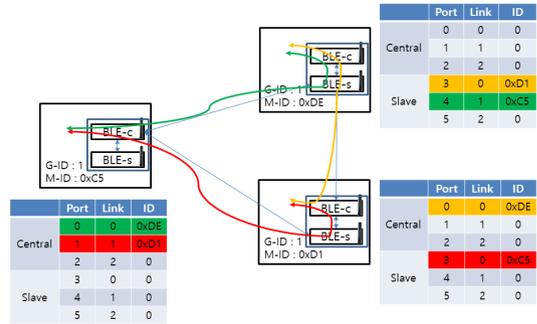


그림 11. 그룹 통신 모듈 간의 데이터 라우팅  
Fig. 11. Data routing between group communication modules

그룹 통신 모듈의 Central 프로세서가 BLE 포트별 Member ID 기반의 전체 라우팅 테이블을 관리하며 Central 프로세서와 Slave 프로세서 모두가 자체 라우팅 테이블을 별도로 관리하여 Target ID를 기반으로 데이터를 전송한다.

그림 11에서 Member ID가 0xD1인 그룹 통신 모듈은 Central 프로세서를 통하여 Member ID가 0xDE인 그룹 통신 모듈과 연결되어 있으며, Slave 프로세서를 통하여 Member ID가 0xC5인 그룹 통신 모듈과 연결되어 있다. UART 포트를 통하여 온보드에서 수신된 데이터와 BLE 통신을 통하여 수신된 데이터는 Target ID를 기반으로 라우팅이 이루어진다. BLE 포트로 수신된 데이터는 Target ID가 자신의 Member ID이면 UART 포트를 통하여 온보드로 전송하고, Target ID가 자신의 Member ID가 아니면 Target ID에 해당하는 BLE 포트로 전송하며 Target ID가 존재하지 않는 데이터는 폐기한다. 그리고, 데이터의 송수신이 수행될 때마다 등록되지 않는 Source ID이면 해당 포트의 라우팅 테이블에 Source ID를 등록한다. 그림 11에서 데이터 경로의 일례로 Member ID가 0xD1인 그룹 통신 모듈에서 Target ID가 0xC5인 데이터를 전송하는 경우에, 데이터가 Central 프로세서에서 SPI 인터페이스를 통하여 Slave 프로세서로 전송되면, Slave 프로세서는 해당 데이터를 Target ID를 기반으로 0xC5인 그룹 통신 모듈로 전송한다. Member ID가 0xC5인 그룹 통신 모듈의 Central은 수신된 데이터의 Target ID가 자신의 Member ID이므로 수신된 데이터를 UART 포트를 통하여 온보드 프로세서로 전송한다.

이러한 BLE 다중 링크를 통한 그룹 통신 기능을 구현하기 위해서 노르딕에서 제공하는 SDK(Software Development Kit) v15.0.0을 사용하였다. Central 프

로세서는 ble\_app\_uart\_c 애플리케이션에 BLE 다중 링크 기능을 추가하여 구현하였으며 Slave 프로세서는 ble\_app\_uart 애플리케이션에 다중 링크 기능을 추가하여 구현하였다. 노르딕 BLE 단일 링크에 대한 성능 실험 결과를 보면, 실제 성능은 51m, 79.3kbps로 측정되고 실외 성능은 355m, 182kbps로 측정되었다<sup>18)</sup>. 그러나, BLE 통신을 다중 링크로 구현하였을 때는 단일 링크에 비해서 그 성능이 더 감소할 것으로 예상된다. 노르딕에서 구현이 가능한 다중 링크의 수는 총 4개이지만 3개의 링크만을 구현한 이유도 4개의 링크를 구현한 경우에 무선 링크의 성능이 많이 낮아지기 때문이다.

### III. 실험

실험 환경 시나리오는 그림 12와 같이 5개의 그룹 통신 모듈과 2개의 IoT 장치(스마트밴드), 그리고 관리자 앱과 다수의 요구조자 앱으로 구성된다.

그룹 통신 모듈로 구성된 동적인 애드혹 망을 통하여 전송되는 데이터는 아래와 같이 3가지 통신으로 분류된다.

- 드론 간의 통신 : 그룹 비행을 위한 무인 이동체의 위치 정보, 무인 이동체 간의 임무 정보 및 드론 자체 정보(드론의 현재 위치, 비행 방향 및 속도, 고도, 제조업체, 모델 등의 정보)
- 관리자 앱과 스마트밴드 간 통신 : 구조자 생체신호 정보 및 문자 전송
- 관리자 앱과 요구조자 앱 간의 통신 : 요구조자 주변 상황 정보, 부상 정보, 문자 및 사진 전송

구조자들이 착용하는 스마트밴드는 맥박수, 피부온도 및 보폭수 등의 생체 정보를 주기적으로 마스터 노드의 관리자 앱으로 전송하며 또한, 관리자 앱으로부터

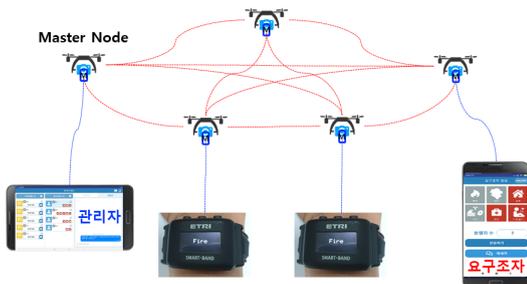


그림 12. 그룹 통신 모듈의 실험 시나리오  
Fig. 12. Experimental scenario of group communication module

터 스트링 형태의 데이터를 수신하여 LCD 창에 표시하는 기능을 제공한다. 스마트 폰 앱은 관리자 앱과 요구조자 앱으로 분류되며 요구조자 앱은 주변 상황 정보(화재, 연기등)와 요구조자의 부상 정보 등을 전송하며 또한, 관리자 앱과 요구조자 앱 간의 문자를 주고받는 기능을 제공한다.

스마트밴드로 송수신되는 데이터는 그림 13(위)과 같이 헤더가 'B'로 정의되어 전송되며 요구조자 앱으로 송수신되는 데이터는 그림 13(중앙)과 같이 헤더가 'P'로 정의되어 전송된다. 관리자 앱이 그룹 통신 모듈로 구성된 애드혹 망에 연결된 모든 그룹 통신 모듈, 스마트밴드 및 요구조자 앱으로 전송되는 전체 메시지 데이터는 그림 13(아래)과 같이 헤더가 'A'로 정의되어 전송되며 그룹 통신 모듈에서 해당 데이터를 분류하여 전송한다.

스마트 폰의 앱은 노르딕에서 제공하는 nRF Toolbox 앱의 UART 기능을 통하여 데이터 송수신을 검증하였다. 5개의 드론에 탑재된 그룹 통신 모듈 중에서 Member ID가 가장 낮거나 아니면 해당 드론의 온보드 또는 해당 그룹 통신에 연결된 스마트 단말 앱의 명령을 통하여 그룹 내에서 마스터 ID로 선정할 수 있다. 마스터 ID로 선정된 그룹 통신 모듈은 그룹 내에 연결된 스마트밴드 또는 스마트 단말 앱에서 전송되는 모든 데이터를 수신하여 드론의 온보드 또는 관리자 앱으로 전송할 수 있으며 반대로 그룹 내의 다른 드론에 연결된 스마트밴드 또는 요구조자 앱으로 데이터를 전송할 수 있는 구조로 구현되었다.

그림 12의 시나리오에 해당하는 실제 시험 환경의 구성은 그림 14과 같다. 5개의 BLE 그룹 통신 모듈은 동적인 매쉬(Mesh) 구조로 연결되기 때문에 연결될 때마다 다른 매쉬(Mesh) 연결 구조를 가지며 IoT 장치는 그룹 통신 모듈의 Central 프로세서와 연결되고 스마트 폰 앱은 그룹 통신 모듈의 Slave 프로세서와 연결된다.

'B'	Target ID	Source ID	Band Data
1 Byte	1 Byte	1 Byte	~241 Bytes
'P'	Target ID	Source ID	App Data
1 Byte	1 Byte	1 Byte	~241 Bytes
'A'	Target ID	Source ID	Broadcast Data
1 Byte	1 Byte	1 Byte	~241 Bytes

그림 13. 밴드(위)와 앱(아래)의 데이터 형식  
Fig. 13. Data formats for band(Top) and app(Center)



그림 14. 그룹 통신 모듈의 실제 실험 환경  
Fig. 14. Experimental environment of group communication module

그룹 통신 모듈의 UART 포트에 연결된 PC 터미널로 얻은 로깅 정보(그림 15)는 BLE 통신으로 연결된 포트별 Member ID와 신호 세기인 RSSI (Received signal strength indication) 정보를 제공한다. 그림 15의 확대한 창의 내용은 표 1의 내용과 같이 그룹 통신 모듈에 포트 0, 1, 3, 4, 5인 다섯 개의 포트에 BLE 연결이 성공한 상대방 Member ID 정보와 RSSI 정보를 보여주고 있다. 포트 1은 IoT 장치인

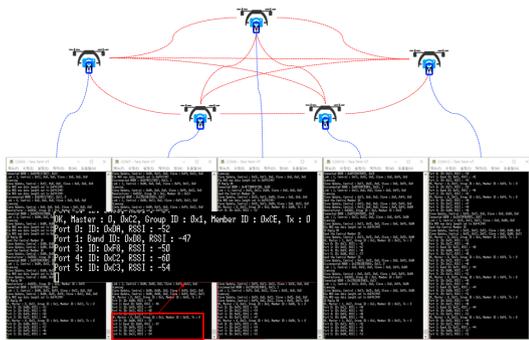


그림 15. 그룹 통신 모듈의 로깅 데이터  
Fig. 15. Logging data of group communication module

표 1. 그룹 통신 모듈의 ID 및 RSSI 정보  
Table 1. ID and RSSI information of the group communication module.

Port	Member ID	RSSI
0	0xDA	-53
1	0xD8	-47
3	0xF8	-50
4	0xC2	-60
5	0xC3	-54

스마트밴드와의 연결 정보를 제공하고 있으며 해당 그룹 통신 모듈이 스마트밴드로 송수신되는 데이터의 포워딩을 수행한다.

그림 16는 마스터 그룹 통신 모듈과 스마트밴드 간의 데이터 통신을 보여주고 있으며 마스터 그룹 통신 모듈의 콘솔을 통하여 전체 스마트밴드로 “SOS” 메시지를 전송한 일례이다. 이러한 메시지는 전체 또는 특정 스마트밴드로 전송할 수 있다. 반대로 스마트밴드의 3개의 버튼을 사용하여 마스터 그룹 통신 모듈의 콘솔 또는 스마트 단말로 사전에 정의된 메시지를 전송할 수 있다.

그림 17은 노트북에서 제공하는 nRF Toolbox 앱을 사용하여 그룹 통신 모듈과의 연결 정보 및 데이터 송수신 결과를 보여주고 있다. nRF Toolbox 앱과 그

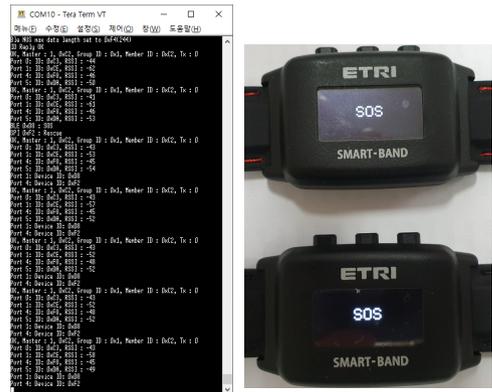


그림 16. 마스터 그룹 통신 모듈과 스마트밴드 간의 데이터 통신  
Fig. 16. Data communication between master group communication module and Smart band

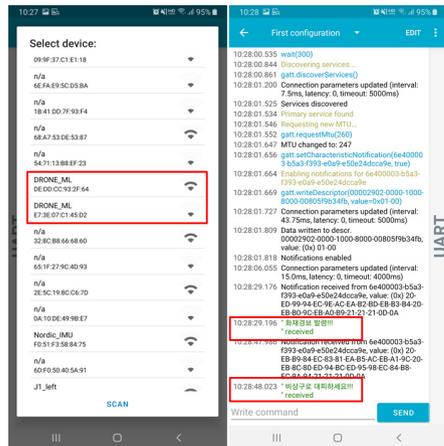


그림 17. 마스터 그룹 통신 모듈과 앱 간의 데이터 통신  
Fig. 17. Data communication between master group communication module and app

그룹 통신 모듈 간의 BLE 연결 정보는 그림 17(좌)과 같으며 그룹 통신 모듈의 BLE 장치 이름은 "DRONE\_ML"이다. 그림 17(우)은 마스터 그룹 통신 모듈에 연결된 nRF Toolbox 앱에서 그룹 내의 다른 그룹 통신 모듈에서 전송된 데이터 내용을 보여주고 있다. 앞으로 개발되는 앱은 해당 장치 이름에 자동 접속하거나 그룹 통신 모듈 또는 앱에 의해 자동 해지하도록 구성할 예정이다.

다중 링크로 구성된 그룹 통신 모듈 간에 데이터 전송 시험은 그림 18과 같으며 그룹 통신 모듈이 다른 그룹 통신 모듈로 헤더를 포함한 244바이트의 데이터를 50ms마다 전송하는 시험을 보여주고 있다. 데이터 시험은 그룹 통신 모듈의 Central 프로세서에서 생성되어 다른 그룹 통신 모듈로 전송되며, 그룹 통신 모듈의 Central 프로세서에서 데이터가 정상적으로 수신되면 콘솔에서 해당 데이터의 수신을 표시한다(데이터 카운터, 전송한 Member ID, 수신 데이터 개수). BLE 데이터 전송 실패로 인한 혼잡이 발생한 경우에는 여러 메시지를 발생하며, 오른쪽 마지막 그룹 통신 모듈의 콘솔에서 데이터 혼잡이 발생함을 보여주고 있다.

동적인 매쉬 형태의 다중 무선 링크로 구성된 그룹 통신 모듈 간에 데이터 전송 시험을 통하여 혼잡이 발생하지 않는 그룹 통신 모듈의 성능은 38.59kbps이지만, 혼잡이 발생한 그룹 통신 모듈에서는 그 성능이 더 낮아진다. 이러한 실험을 통하여 그룹 통신 모듈 간의 다양한 매쉬 형태의 망 구조에 따라서 그룹 통신 모듈마다 조금씩 다른 데이터 송수신 성능을 보여줄 수 있다. 앞으로 그룹 통신 모듈을 부착한 인텔 Aero 드론의 실제 군집 비행 시험을 통하여 군집 비행을 유지하기 위한 드론 간의 위치 정보와 요구조자 탐색과 관련된 임무 정보 등의 데이터 전달을 위하여

다양한 실내외 환경에서의 시험을 진행할 예정이다.

#### IV. 결론

무인 이동체인 드론은 산업 및 민간 등의 다양한 분야에서 적용하고 있으며 특히, 통신 인프라가 부족한 재난 안전 분야와 군사 분야에서 군집 비행에 관한 관심이 높아지고 있다. 군집 비행으로 경찰 또는 인명 탐색 같은 임무를 무인 이동체 간의 협력으로 짧은 시간 내에 마칠 수 있는 이점이 있으며, 인프라가 부족한 재난 상황에서 안전한 군집 형태를 이루기 위해서는 드론 간의 통신이 필요하며 또한 드론과 주변 IoT 장치 간의 통신이 가능함으로써 재난 상황에 대한 좀 더 많은 정보를 취득할 수 있는 이점이 있다.

본 논문에서는 인프라가 부족한 재난 상황에서 무인 이동체인 드론들이 임무 협력과 안전한 군집 비행을 지원하고 재난 상황에 대한 많은 정보를 취득하기 위해서 동적인 매쉬 형태의 다중 링크 기능을 지원하는 BLE 그룹 통신 모듈을 소개하였으며, 실내 시험을 통하여 드론 간의 통신 이외에 드론과 주변 다른 IoT 장치 간의 통신 가능성을 시험하였다. 앞으로 그룹 통신 모듈을 인텔 드론에 부착하여 실제 군집 비행을 통하여 드론의 위치 정보 및 임무 협력 정보에 대한 데이터 정의와 드론 간의 데이터 송수신 시험을 진행할 예정이며 또한, 실내외 시험을 통하여 그룹 통신 모듈의 성능과 안정성에 대한 검증과 다중 흡에 대한 추가적인 구현이 필요하다.

#### References

- [1] M. Saska, et al., "Autonomous deployment of swarms of micro-aerial vehicles in cooperative surveillance," *IEEE ICUAS*, pp. 584-595, May 2014.
- [2] A. Weinstein, et al., "Visual inertial odometry swarm: An autonomous swarm of vision-based quadrotors," *IEEE Robotics and Automation Lett.*, vol. 3, no. 3, pp. 1801-1807, Jul. 2018.
- [3] S. Son, J.-H. Kang, and K. Park, "Overview and issues of drone wireless communication," in *Proc. Inf. & Commun. Mag.*, pp. 93-99, 2016. (Korean).
- [4] M. A. Khan, I. M. Qureshi, and F. Khanzada, "A hybrid communication scheme for efficient and low-cost deployment of future flying

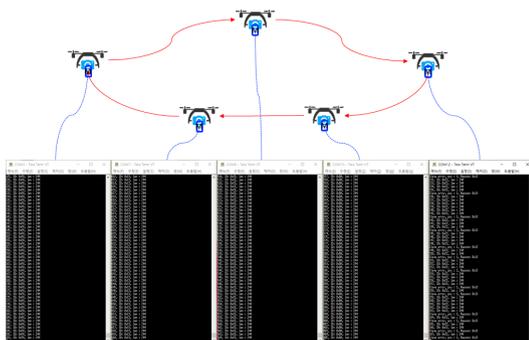


그림 18. 그룹 통신 모듈 간의 데이터 전송 시험  
Fig. 18. Data transmission test between group communication modules

ad-hoc network (FANET),” *Drones*, vol. 3, no. 1, 2019.

- [5] P. R. Soria, et al., “Bluetooth network for micro-uavs for communication network and embedded range only localization,” *IEEE ICUAS*, pp. 747-752, 2017.
- [6] Intel, *Intel drones: BVLOS, night flights, new ID & tracking solution*(2017), Retrieved Oct. 7, 2019, from <https://internetofbusiness.com/intel-bvlos-night-flights-open-drone-id/>.
- [7] M. Alharthi, A.-E. M. Taha, and H. S. Hassanein, “An architecture for software defined drone networks,” in *Proc. 2019 IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, pp. 1-5, Shanghai, China, 2019.
- [8] Rutronik, *Determination of practical extremes of Bluetooth Low Energy: Throughput, energy consumption and maximum range*(2018), Retrieved Oct. 7, 2019, from [https://www.rutronik.com/fileadmin/Rutronik/Downloads/printmedia/products/06\\_wireless/bluetooth5.pdf](https://www.rutronik.com/fileadmin/Rutronik/Downloads/printmedia/products/06_wireless/bluetooth5.pdf)

**이 상 연 (Sang-yeoun Lee)**



1996년 2월 : 강원대학교 전자공학과 졸업  
 1998년 2월 : 강원대학교 전자공학과 석사  
 1998년 3월~현재 : 강원대학교 전자공학과 박사과정  
 2000년 10월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 통신공학, IoT Device, 생체신호 처리, 임베디드 프로세싱

[ORCID:0000-0003-2642-1279]

**김 명 은 (Myung-Eun Kim)**



1996년 2월 : 숭실대학교 소프트웨어공학과 졸업  
 1998년 2월 : 서강대학교 컴퓨터 공학과 석사  
 2019년 2월 : 충남대학교 컴퓨터 공학과 박사  
 2000년 9월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 사물인터넷, 무인이동체, 협업지능  
 [ORCID:0000-0003-2049-4119]

**손 종 권 (Jong-kwon Son)**



2013년 2월 : 부산대학교 정보컴퓨터공학부 졸업  
 2015년 2월 : 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사  
 2016년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 연구원

<관심분야> 컴퓨터공학, 빅데이터, 머신러닝

**전 지 훈 (Ji-hun Jeon)**



2011년 8월 : 서울대학교 기계항공공학부 졸업  
 2013년 8월 : 서울대학교 기계항공공학부 석사  
 2013년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 연구원  
 2019년 3월~현재 : 서울대학교 기계항공공학부 박사과정

<관심분야> 무인기, 영상 기반 항법, 실내 항법

[ORCID:0000-0002-9642-4769]

이 강 복 (Kang-bok Lee)



2002년 2월 : 충북대학교 정보

통신공학과 박사과정 수료

1993년~2000년 : LG 반도체

근무

2000년~현재 : 한국전자통신연

구원 책임연구원

<관심분야> 정보통신공학, RFID/USN, ROIC, 생체  
신호 처리, IoT 센서

[ORCID:0000-0001-9508-5577]