creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000279444

2020년 2월
석사학위 논문

UAV 원격제어를 위한 비용효율적인 IMU-GPS 기반 LTE 통신시스템

조선대학교 대학원

전자공학과

정 지 성

2020년 2월 석사학위논문 UAV 원격제어를 위한 비용효율적인 IMU-GPS 기반 LTE 통신시스템 정 동 일

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

UAV 원격제어를 위한 비용효율적인 IMU-GPS 기반 LTE 통신시스템

Cost-effective IMU-GPS based LTE Communication System for UAV Autonomous Flight

2020년 2월 25일

조선대학교 대학원

전자공학과

정 지 성

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

UAV 원격제어를 위한 비용효율적인 IMU-GPS 기반 LTE 통신시스템

지도교수 이 충 규

이 논문을 전자공학석사학위신청 논문으로 제출함

2019년 10월

조선대학교 대학원

전자공학과

정 지 성

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

정지성의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교 수 최 현 식 (인)

위 원 조선대학교 교 수 이 인 영 (인)

위 원 조선대학교 교 수 이 충 규 (인)

2019년 11월

조선대학교 대학원

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

ABSTRACT ····· vi

제1장 서 론 ····· 1

제1절 드론(Drone) 응용 기술 및 국·내외 연구 현황 ····· 1

제2절 드론 운용을 위한 RF 통신의 문제점 ····· 2

제3절 연구 목표 및 개요 ····· 2

제2장 드론 제어 시스템 ····· 3

제1절 관성 측정 장치(IMU)를 통한 모터의 PID제어 ····· 3

1. 관성 측정 장치(IMU) 기반의 위치 정의 ····· 3

2. 날개 모터 제어를 위한 PID 제어 ····· 5

제2절 GPS 데이터의 RTCM 디퍼렌셜 보정 ····· 6

1. 표준 NMEA 0183 프로토콜 ····· 6

2. RTCM 디퍼렌셜 GNSS 보정 ····· 8

제3장 드론 능동 제어 및 감시 시스템 ····· 10

제1절 드론 설계 및 구현 ····· 10

1. 드론 기체 설계 및 제작 ····· 10

2. RF송·수신기를 통한 드론 수동 제어 시연 ····· 13

3. 드론-싱글보드컴퓨터 기반의 LTE 통신 시스템 개발 ····· 16

제2절 드론 원격제어 및 감시를 위한 네트워크 구축 ····· 20

1. LTE기반의 TCP/IP 소켓 통신을 이용한 Server-Client 구축 ·· 20

2. 데이터베이스 (DB) ····· 24

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. GPS 데이터 오차 감소를 위한 RTCM 디퍼렌셜 보정 ····· 27
4. GUI (Graphic User Interface) 서비스 ····· 30
제4장 드론 능동 제어 및 감시 시스템 운용 시연 ···· 32
제1절 LTE 기반 UAV 운용 시스템 ····· 32
제2절 UAV 기반 격납고의 입·출고 시스템 ····· 35

제5장 결론 ····· 41

참고문헌 ····· 42

연구실적 ····· 45

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

도 목 차

그림 2.1 PID 제어 흐름도 ····· 5
그림 2.2 NMEA 0183 프로토콜의 실제 출력된 데이터 형태 ····· 6
그림 2.3 NEMA 프로토콜의 프레임 구조 ····· 7
그림 2.4 RTCM의 디퍼렌셜 GNSS 보정 시나리오 ····· 8
그림 3.1 RF 송·수신기를 통한 드론 수동 제어 구성도 ····· 13
그림 3.2 RF Remote Controller를 통한 드론 비행 시연 ····· 15
그림 3.3 드론-싱글보드컴퓨터 기반의 LTE 통신 시스템 구성도 ····· 16
그림 3.4 드론-싱글보드컴퓨터 기반의 드론 내부 결선도 ····· 17
그림 3.5 싱글보드컴퓨터상에서 드론의 상태 데이터 확인 ····· 17
그림 3.6 커맨드를 통한 드론의 비행 모드 변경 ····· 18
그림 3.7 업데이트 및 라이브러리 설치 커맨드 ····· 18
그림 3.8 드론코드SDK 라이브러리 설치 커맨드 ····· 18
그림 3.9 서브모듈 업데이트 커맨드 ····· 19
그림 3.10 드론 TAKEING OFF LANDING 실행파일 컴파일 및 디버깅 커맨드 ··· 19
그림 3.11 드론 TAKEING OFF LANDING 명령 실행 커맨드 ····· 19
그림 3.12 Base Station(Server)와 Rover module(Client) 간의 통신 망 구성도 ····· 20
그림 3.13 Base Station(Server)와 Rover module(Client) 간의 시스템 흐름도 ····· 21
그림 3.14 LTE 모듈을 통한 싱글보드컴퓨터의 ip 할당 ····· 21
그림 3.15 스테이션과 로버 간의 전송 패킷 구성 ····· 22
그림 3.16 로버(k)와 로버(n) 사이의 소켓 이벤트 흐름도 ····· 23
그림 3.17 server to client 패킷 전달 ····· 23
그림 3.18 client to server 패킷 전달 ····· 24
그림 3.19 Rover Packet Table ····· 24
그림 3.20 Base Station Packet Table ····· 25
그림 3.21 IP Connection Table ····· 26
그림 3.22 오차가 있어 보정이 필요한 위치 정보값 ····· 27
그림 3.23 LTE 망을 통한 디퍼렌셜 보정 메시지 송수신 플랫폼 ····· 28
그림 3.24 Base 모듈의 디퍼렌셜 GNSS 보정 메시지 취득 ····· 29
그림 3.25 보정 전(좌측)과 보정 후(우측)의 한 점에서의 위치 정보 값 ····· 29
그림 3.26 GUI 시스템 실행 시 화면 ····· 30

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 3.27 Rover 위치 지정(클릭) 시 데이터 출력 ····· 31
그림 3.28 Rover 목표지점 지정(두 번째 클릭) 시 GUI 구성 ····· 31
그림 4.1 LTE 기반 UAV 운용 서비스 ····· 32
그림 4.2 LTE 기반 UAV 운용 서비스 시스템 구성도 ····· 33
그림 4.3 LTE 기반 UAV 운용 서비스 시스템 드론 자동 비행 시연 ····· 34
그림 4.4 UAV 기반의 격납고의 입·출고 시스템 구성도 ····· 35
그림 4.5 UAV 기반의 격납고의 입·출고 시나리오 ····· 36
그림 4.6 UAV 기반의 격납고의 입·출고 시스템 흐름도 ····· 37
그림 4.7 자동입고 함수 흐름도 ····· 38
그림 4.8 수동입고 함수 흐름도 ····· 38
그림 4.9 출고 함수 흐름도 ····· 39
그림 4.10 UAV 기반의 격납고의 입·출고 시스템의 GUI ····· 39
그림 4.11 UAV 기반의 격납고의 입·출고 시스템의 현장 시연 사진 ····· 40

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 목 차

표 1.1 드론 운용 및 무선 네트워크 기술 동향
표 3.1 드론기체 설계 및 실제구현 비교표
표 4.1 UAV 기반의 격납고의 입·출고 시스템의 프로세스

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Cost-effective IMU-GPS based LTE Communication System for UAV Autonomous Flight

Jeong, Ji Seong
Advisor : Prof. Lee, Chung Ghiu Ph.D.
Dept. of Electronic Engineering,
Graduate School of Chosun University

Today, unmanned aerial vehicle (UAV) operating technology has attracted great attention in many industries and many engineers around the world are developing systems with UAVs. Especially, autonomous flight technology is an important issue. The autonomous flight technology of UAV is important not only for processing sensor data and designing algorithms for flight but also for building communication networks. Because UAVs need to be transmitting and receiving data with a server at all times.

This study describes the process of flying drones automatically according to commands for takeoff and landing via an LTE wireless communication network. This study includes assembling drone, processing LTE communication network between drone (client) and PC (server), and designing web-based monitoring system. In addition, this study includes calibrating the position data of drones based on differential GNSS correction messages in RTCM2.4.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

In conclusion, the system is designed based on a low-cost single board computer to make the system cost-effective. An inertial measurement unit (IMU) sensor is also used to correct the attitude of the flying drone, and a global positioning system (GPS) module is used to monitor the drone on the server. Data collection and forwarding uses LTE-based wireless communication and is performed with TCP/IP socket communication.

KEYWORDS : unmanned aerial vehicle (UAV), LTE network, autonomous flight, drone operating system

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제1장 서 론

제1절 드론(Drone) 응용 기술 및 국·내외 연구 현황

Unmanned aerial vehicle (UAV) 운용 기술이 많은 산업 분야에서 큰 관심을 끌면서 세계 각국의 엔지니어들은 UAV 운용 관련 시스템들을 개발하고 있다 [1-2]. 그 중에서도 자율비행은 UAV 운용 기술 중에서 이목이 집중되는 분야이다 [3-5]. UAV의 자율비행은 비행을 위한 센서데이터와 알고리즘뿐만 아니라 상시 데이터를 송수신 할 수 있는 통신 네트워크를 필요로 한다. [6-8].

연구수행 기관	연구개발의 내용
KT	LTE 통신을 통한 드론 재난 보고
LG 유플러스	실시간 LTE 영상기반 드론 제어
KAIST	멀티홉 무선네트워킹, 드론 정보전달 및 공유
DARPA	Mobile Hotspots을 통한 드론 이용 데이터 전송
Google	Skybender(5G인터넷 연결)를 통한 무선인터넷 보급망 확장
Univ. of Texas, Austin	Hop-by-Hop congestion control [9]
Parrot, Sysnav	센서, 컴퓨터 비전 음파 탐지기를 결합한 실내 네비게이션 시스템 및 저가의 드론 무선 제어 시스템 구성 [10]
NTNU	AeroQuad 플랫폼에 기반한 ARF (almost-ready-to-fly)와 웹 카메라를 통한 착륙제어시스템 구성
CNRS	Hovering flight stabilization [11]

표 1.1 드론 운용 및 무선 네트워크 기술 동향

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 드론 운용을 위한 RF 통신의 문제점

UAV는 다양한 분야에서 응용 연구가 활성화 되고 있다 [12]. 농업분야에서는 대규모 방역 및 가축 감시, 군사에서는 정찰, 감시와 대잠 공격의 용도로 주로 사용하고 있으며 정보통신에서는 여러 개체의 드론을 이용해 무선으로 인터넷을 중계하는 기술이 있고, 국가에서는 기상관측과 재해현장 탐사보도 등에 활용하고 있다. 이렇게 많은 분야에서 UAV가 활용되고 있으며 대부분의 UAV는 감시 및 제어 데이터를 송수신하기 위해 RF 통신을 이용하고 있다.

기존 UAV 원격제어에 사용되어오던 RF 통신은 거리제한이 있다. 이를 보완하기 위해서는 출력을 증폭시켜 통신 범위를 늘리거나 중계기를 활용하여 통신 가능한 네트워크를 넓히는 방법 등이 있다. 출력을 증폭시키기 위해 증폭기를 설계하거나 새로운 통신 망을 구축하기에는 많은 비용이 든다.

제3절 연구 목표 및 개요.

본 학위논문은 위에서 제시했던 RF 통신의 문제점을 보완하고자 현재 많이 이용되고 있는 저가의 싱글보드컴퓨터를 활용하여 국내 LTE 네트워크 서비스를 기반으로 [13] 드론운용 시스템 구축에 관한 연구를 포함하고 있다. 동시에 보다 정확한 드론의 위치를 추적하기 위해 RTCM 보정 메시지를 활용하여 [14] 글로벌 포지셔닝 시스템(GPS)의 [15] 오차를 줄이고 이를 감시하는 시스템을 제작하는 과정과 결과에 대한 내용을 포함한다.

본 연구는 UAV 자율비행에 기반이 되는 통신 시스템 및 UAV 운용 플랫폼을 제시한다. 본 기술을 기반으로 서프(SURF) 기술, 슬램(SLAM) 기술, 시프트(SIFT) 기술과 접목하여 사용될 수 있다. [16-18]

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2장 드론 제어 시스템

제1절 관성 측정 장치(IMU)를 통한 모터의 PID제어

1. 관성 측정 장치(IMU) 기반의 위치 측정 방법

관성 측정 장치(IMU, Inertial Measurement Unit)는 드론의 자세 및 위치를 측정하는 장치이며 드론의 모터의 PID제어를 위한 피드백 역할을 한다 [19-20]. 흔히, 6축 관성 측정 장치와 9축 관성 측정 장치가 있다. 6축 관성 측정 장치는 회전 속도계(Gyroscope), 가속도계(Accelerometer)로 이루어져 있고, 9축 관성 측정 장치는 회전 속도계, 가속도계, 자력계(Magnetometer)로 이루어져 있다.

각각의 계측기는 관성을 이용하여 x, y, z축으로 물리량을 측정하는데 회전 속도계는 각속도(rad/s), 가속도계는 가속도(m/s^2)를 측정한다. 또한, 자력계는 위치 값의 보정을 위해 지자기(T)를 측정한다. 측정된 선형 가속도를 이용하여 롤, 피치, 요를 구하기 위해서 다음 수식 (2.1), (2.2), (2.3)에 따라 쿼터니언에서 오일러 각도로의 변환식이 필요하다.

$$\phi = \arctan\left(\frac{2(q_0q_1 + q_2q_3)}{1 - 2(q_1^2 + q_2^2)}\right) \tag{2.1}$$

$$\theta = \arcsin\left(2(q_0q_2 - q_3q_1)\right) \tag{2.2}$$

$$\psi = \arctan\left(\frac{2(q_0q_3 + q_1q_2)}{1 - 2(q_2^2 + q_3^2)}\right) \tag{2.3}$$

하지만 컴퓨터 언어로 구현된 arctan 함수는 $-\frac{\pi}{2}$와 $\frac{\pi}{2}$ 사이의 결과만 생성하여 $-\frac{\pi}{2}$와 $\frac{\pi}{2}$ 사이의 3회전에 대하여 가능한 모든 방향을 얻지 않는다. 그러므로 모든 방향을 생성하기 위해서 컴퓨터 코드의 arctan 함수를 $atan2$로 변형해야 한다. 변형 결

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

과는 다음 수식 (2.4), (2.5), (2.6)과 같다.

$$\phi = atan2\big(2(q_0q_1 + q_2q_3), 1 - 2(q_1^2 + q_2^2)\big) \tag{2.4}$$

$$\theta = asin\big(2(q_0q_2 - q_3q_1)\big) \tag{2.5}$$

$$\psi = atan2\big(2(q_0q_3 + q_1q_2), 1 - 2(q_2^2 + q_3^2)\big) \tag{2.6}$$

본 공식만으로는 순간적인 가속도로 정확한 위치 데이터를 얻는 것은 쉽지 않다. 가속도 센서는 어느 정도 기울어졌는지 각도측정에 사용된다. 이 때 각도는 중력가속도를 이용하는데 지구의 중력은 항상 한 방향으로만 작용하기 때문에 연직방향으로 작용하는 중력을 어느 각이 어느 정도 받고 있는지 이용하여 기울어진 정도를 측정하게 된다.

이 가속도 값만 가지고 각도를 측정했을 경우 상당한 오차가 발생한다. 이 오차는 누적되는 값은 아니지만 순간적인 값이 중요할 때 큰 오차가 생길 수 있다. 결국 본 논문의 UAV에 적용하기에 정확도 측면에서 부족할 수 있다.

반대로 각속도를 측정하는 자이로 센서를 활용하여 측정하게 될 경우, 특정 축을 기준으로 회전하는 속도를 측정하게 되는데 이를 이용하여 현재의 각도를 알 수 있다. 하지만 이 또한 항상 정확한 각도를 측정하는 것은 쉽지 않다. 매 순간 조금씩 틀어지는 값이 발생하고 이 값이 누적될 경우 실제 각도와 데이터 각도가 달라지는 드리프트라고 부르는 현상이 생긴다.

결론적으로 가속도 센서와 각속도 센서 이 두 센서의 데이터를 모아 이상적인 값과 최대한 가까운 데이터를 얻어낼 수 있는 상보필터를 활용해야한다. 상보필터 공식은 다음 수식 (2.7)과 같다.

$$\theta_1 = 0.98(\theta_0 + (D_G)dt) + 0.02(D_A) \tag{2.7}$$

θ는 출력할 각도, D_G는 자이로 데이터, t는 적분할 시간, D_A는 가속도를 이용한 각도 데이터를 나타낸다. 0.02는 가속도 및 자이로 데이터 중요도를 결정하는 파라미터

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

값이다. 본 논문은 비행하는 드론의 기울기를 측정하기 위해 위의 공식을 활용하여 python 코드로 시스템에 적용시킨다.

2. 날개 모터 제어를 위한 PID 제어

드론의 날개 모터 제어는 PID제어를 통해 이루어진다[22-24]. 관성 측정 장치(IMU)를 이용해서 실시간으로 구해지는 롤(Roll), 피치(Pitch), 요(Yaw) 값을 기반으로 각 모터를 PWM(Pulse width modulation) 방식으로 제어한다. PID 제어 알고리즘의 흐름도는 다음 그림 2.1과 같다.

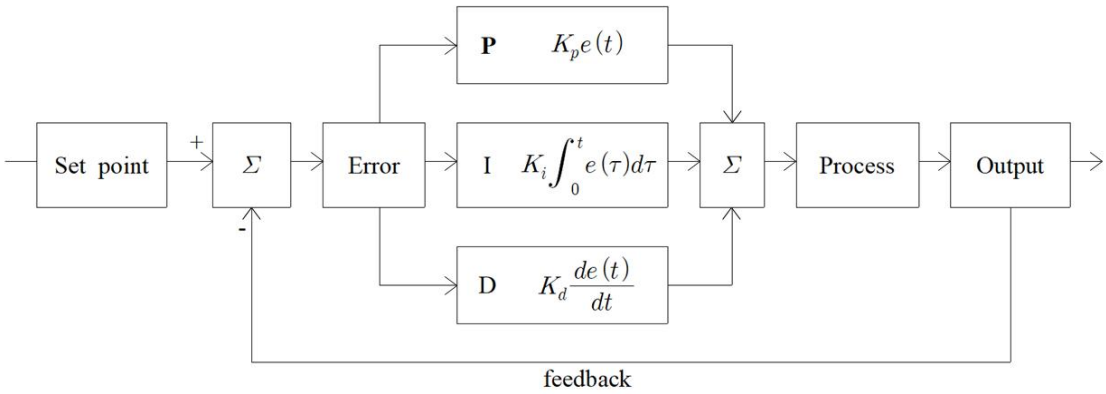


그림 2.1 PID 제어 흐름도

PID 제어는 위의 그림 2.1과 같이 비례(P) - 적분(I) - 미분(D)을 포함하며 피드백 구조를 가지고 있다. 입력값을 측정하고 목표로 하는 설정값과 비교하여 오차를 계산한다. 오차값을 이용하여 제어에 필요한 제어값을 도출할 수 있다. 이 제어값은 다시 피드백(feedback) 구조로 제어 대상의 입력으로 사용된다. 시스템에 사용된 표준 PID 제어는 위의 비례, 적분, 미분 항을 모두 더하여 제어값을 계산한다. 수식은 다음과 같다.

$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau)d\tau + K_d \frac{de}{dt} \tag{2.8}$$

비례항(P)은 현재 제어상태의 오차값 크기와 비례한 제어역할을 하고, 적분항(I)은

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

일정한 상태로 유지되는 오차를 제거하는 역할을 하며, 미분항(D)은 출력값의 임펄스 노이즈와 같은 갑작스러운 변화에 제동을 걸어 목표값을 지나치는 오버슛을 줄여 안정성을 향상시켜준다.

PID 제어기에 입력값이 들어오면 날개 모터가 가동되고 관성 측정 장치(IMU)로 측정한 위치 벡터 값이 피드백 값이 된다. 다시 말하면 실시간으로 드론이 균형을 맞춰 비행할 수 있도록 각 날개 모터의 출력값을 피드백 값에 따라 변화시켜가며 제어하게 된다.

제2절 GPS 데이터의 RTCM[1] 디퍼렌셜 보정

1. 표준 NMEA 0183 프로토콜

NMEA 0183은 시간, 위치, 방위 등의 정보를 전송하기 위해 The National Marine Electronics Association(NMEA)에서 정의한 규격이다 [25-26]. 본 데이터는 주로 자이로컴퍼스, GPS, 나침반, 관성항법장치(INS)에 사용되는데, 본 연구에 필요한 GPS 데이터를 수신하고 처리하기 위해 사용한 프로토콜 규격이다. ASCII코드로 이루어져 있고 직렬방식의 통신을 사용했다. 실제 NMEA 0183의 데이터 형태는 그림 2.2와 같다.

```
$GPGGA,114455.532,3735.0079,N,12701.6446,E,1,03,7.9,48.8,M,19.6,M,0.0,0000*48
$GPGSA,A,2,19,25,15,,,,,,,,,,21.5,7.9,20.0*32
$GPGSV,3,1,10,03,86,244,00,19,51,218,38,16,51,057,00,07,40,048,00*77
$GPGSV,3,2,10,13,34,279,00,23,33,236,00,15,29,076,40,25,25,143,38*71
$GPGSV,3,3,10,21,18,051,,27,12,315,*77
$GPRMC,114455.532,A,3735.0079,N,12701.6446,E,0.000000,121.61,110706,,*0A
```

그림 2.2 NMEA 0183 프로토콜의 실제 출력된 데이터 형태

위의 그림 2.2와 같이 첫째 자리는 '$'로 시작하며 'GP'는 GPS 모듈이라는 것을 의미하고 뒤에 세 자리는 해당 프로토콜이 가지고 있는 데이터의 종류를 나타낸다. 데이터

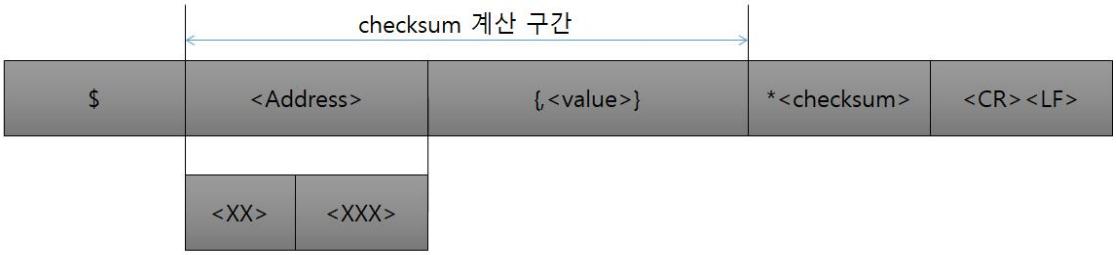
1) RTCM: Radio Technical Commission for Maritime Services

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

구분자는 ‘,’이고 데이터는 ‘*’로 끝난다 마지막에 나오는 헥사 코드 두자리는 ‘$’에서부터 ‘*’사이에 존재하는 데이터를 모두 XOR(exclusive or) 연산하여 나온 체크썸 값이다.

NMEA 0183 규격의 데이터 중에서 본 논문에서 활용된 프레임은 ‘GPGGA’항목이다. GPGGA의 프레임 구조는 다음 그림에서 볼 수 있다.

NMEA 프로토콜 프레임



실제 데이터:

$	GP	GGA	,114455.532,3735.0079,N,12701.6446,E,1,03,7.9,48.8,M,19.6,M,0.0,0000	*48	<CR><LF>

그림 2.3 NEMA 프로토콜의 프레임 구조

위 그림에 <value>에 대한 데이터의 정보는 다음과 같다.

- 114455.532는 그리니치 표준시를 나타낸다. (11시 44분 55.532초)
- 3735.0079는 위도를 나타낸다. (37도 35.0079분)
- N은 북위를 뜻한다. (↔ S)
- 12701.6446은 경도를 나타낸다. (127도 1.6446분)
- E는 동경을 뜻한다. (↔ W)
- 1은 픽스(Fix)의 종류를 나타낸다.
  - 0 : Invalid. (보통 위성이 잡히지 않을 시에 0)
  - 1 : GPS에서 제공하는 기본 위성을 가지고만 계산할 경우.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

- 2 : DGPS를 이용하여 보정하여 계산할 경우[2)]

- 03은 계산에 사용한 위성을 개수를 나타낸다.
- 7.9는 2차원적 오차결정(수평방향)을 뜻한다.[3)]
- 48.8M는 해수면 기준 고도이다.
- 19.6M는 WGS-84에서 정해놓은 타원체로서 모델링한 지구와 구체로서 모델링된 지구 고도의 차이를 뜻한다.
- 0.0과 0000은 DGPS 사용 시 마지막 업데이트 시간과 기지국의 ID이다.
- 48은 Check Sum을 나타낸다.

2. RTCM 디퍼렌셜 GNSS 보정

위치를 측정하기 위해 미국의 GPS 뿐만 아니라 유럽의 갈릴레오(Galileo), 중국의 베이도우(BeiDou), 러시아의 글로나스(GLONASS) 등 여러 국가의 인공위성들이 존재한다. 서로 다른 위성을 통해 측위 정확도를 높이기 위해서 국제 표준은 Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM)에서 Recommended Standards for Differential GNSS Service version 2.4 (RTCM 2.4) 보정 메시지를 정의하였다.

2) DGPS는 지구지표가 명확히 알려진 방위에 기지국을 설치하거나 NAVSTAR GPS위성이 아닌 타 위성으로부터 송출된 GPS 신호를 받아 위치값을 보정하는 방법이다.

3) horizontal dilution of Precision = $\frac{1}{\sigma_{UERE}}\sqrt{\sigma_E^2+\sigma_N^2}$

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

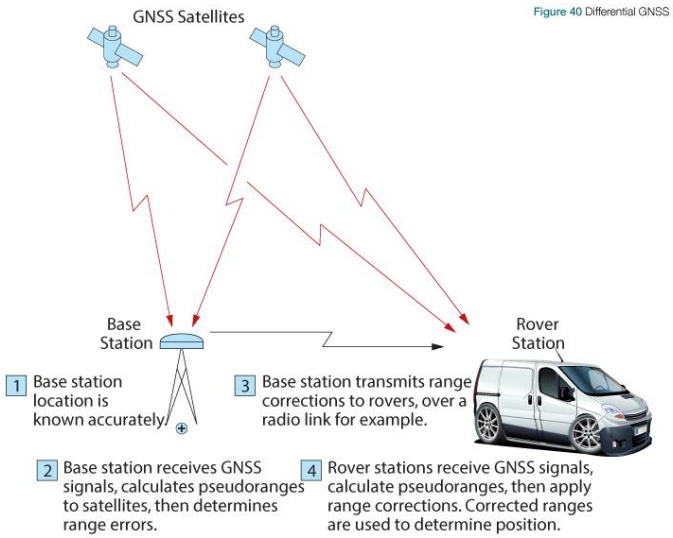


그림 2.4 RTCM의 디퍼렌셜 GNSS 보정 시나리오[3)]

위의 그림2.4를 보면 고정된 위치의 Base Station(BS)에서 일정 시간동안 위치 정확도를 높인다. 이는 시간이 오래 지날수록 정확해진다. BS 에서 측정된 위치를 위성 범위로부터 계산된 위치와 비교한다. 본 과정에서 생기는 오차를 움직이는 Rover Station(RS)으로 전송하여 RS의 위치정보값을 보정할 수 있다.

이 방식으로 RTCM 2.4 디퍼렌셜 GNSS 메시지를 이용하여 본 논문에서 드론의 위치데이터를 보정한다.

4) 그림 출처: https://www.novatel.com/

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3장 드론 능동 제어 및 감시 시스템

제1절 드론 설계 및 구현

1. 드론 기체 설계 및 제작

능동 제어가 가능한 드론의 구성요소들이 다음 목록에 있다.

- 프레임 (Frame)
- 모터, 프로펠러 (Motors, Airscrews)
- 변속기 (ESC, Electronic Speed Control)
- 컨트롤러 (MCU, Micro Control Unit)
- 제어용 RF 송·수신기 (Remote Controller)
- 전원 관리 모듈 (Power Management Board)
- 배터리 (Battery)

개발 플랫폼에 따라 드론의 비행시간, 적층가능무게, 사용목적 등과 같은 요소들을 고려한 후, 위와 같은 부품들을 채택하여 개발한다. 프레임은 드론의 몸체 역할을 하며 가볍고 튼튼한 소재를 선택하고 드론의 날개의 개수에 따라 다른 형태를 지닌다. 보통 날개가 4개인 쿼드콥터, 날개가 6개인 헥사콥터, 날개가 8개인 옥타콥터가 일반적이다.

모터와 프로펠러인데 보통 모터는 드론을 띄우는 추력이 충분하기 위해 출력이 좋은 BLDC모터를 사용하는데, 모터마다 스펙이 다르므로 모든 부품이 포함된 드론의 무게와 모터의 개수에 따라 계산을 하여 이상적인 모터를 채택해야한다.

변속기(ESC)는 드론의 상하 제어인 스로틀(Throttle)이 적용되는 동안 모터가 회전해야하는 속도를 제어하는 역할을 하는데 이는 모터의 성능에 따라 적합한 부품으로 채택을 해야 한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

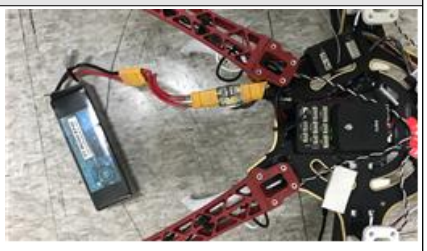
컨트롤러는 드론의 제어에 대한 모든 것을 관장하며 드론이 사용되는 플랫폼에 따라 채택을 해야 한다. GPS 데이터, IMU 센서 데이터 등을 모니터링하고 재가공해야할 경우 개발에 대한 확장성이 좋은 많은 통신포트를 지원하는 컨트롤러가 유리하다.

제어용 RF 송신기는 드론을 제어하는 리모트 컨트롤러가 되고, 수신기는 드론 측에 부착이 된다. 단순히 리모트 컨트롤러로 드론을 제어할 시에는 드론의 비행 제어를 할 수 있는 중요한 부품이다. 하지만 본 연구에서는 드론이 잘 비행하는지 테스트 할 때에만 사용되고, 실제 제어는 LTE 통신 네트워크를 이용하기 때문에 중요한 부품에 해당되지 않는다.

전원관리모듈은 드론의 전원단의 전압 및 전류를 관리해주는 보드이다. 사용될 모든 부품들의 전압레벨과 전류 한계치를 고려하여, 직접 설계하거나 적합한 상용 모듈을 채택할 수 있다. 전원관리모듈의 입력단은 배터리가 되고 출력단은 드론 제어에 사용될 각종 모듈들이 된다.

배터리는 드론 설계를 함에 있어서 중요한 요소이다. 드론의 적층가능 무게와 비행시간에 직결되며 이를 최적으로 하기 위해 배터리의 선택이 중요하다. 용량이 클수록 중량도 커진다는 것을 고려하여 채택해야한다. 일반적으로, 부하(Load)가 커도 순간 출력에 무리가 없는 리튬폴리머 배터리를 사용한다.

다음 표는 본 연구에 관련된 개발 프로젝트에서 부품을 채택하고 설치한 내역이다.

	설계도 및 플랫폼	실제 구현
전원 관리 모듈	 전력관리 디바이스 및 리튬폴리머 배터리	 ※ Lipo S4 (6,300mah/14.8V) 사용

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

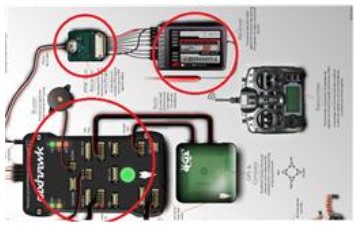
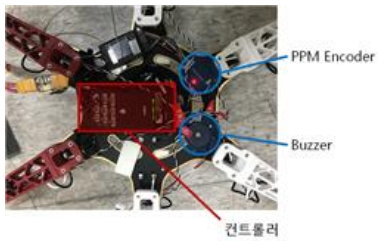
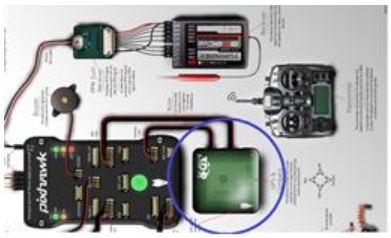
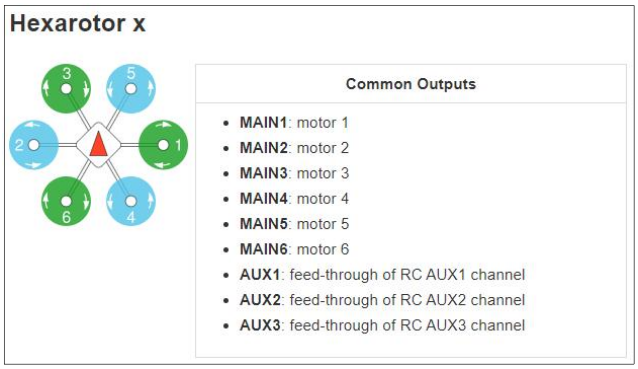
컨트롤러 및 센서부		
GPS		 ※ Pixhwak사의 Here모듈의 GPS 사용
모터동작부 (ESC,모터)		
랜딩기어		 ▲ 착륙 시 ▲ 이륙 시
프레임 및 주행 알고리즘		

표 3.1 드론기체 설계 및 실제구현 비교표

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

위의 채택된 부품을 모두 관장하고 제어하는 부분이 컨트롤러이다. 현재 상용화 되어있는 드론 컨트롤러 중에서 Pixhawk가 많은 통신 포트를 포함할 뿐만 아니라 프로그래밍이 가능한 MCU가 내장되어 유연한 개발환경을 구축하는데 적합하여 채택하였다. 또한, 헥사로터 엑스(Hexarotor X)의 비행 알고리즘은 쿼드로터(Quadrotor)에 비해 짧은 시간에 가속을 할 수 있을 뿐만 아니라 비행이 안정화 되어있다는 장점이 있기 때문에 본 제어알고리즘을 채택 하였다.

2. RF송·수신기를 통한 드론 수동 제어 시연

상용 조립용 드론은 대부분 다음과 같이 구성된다.

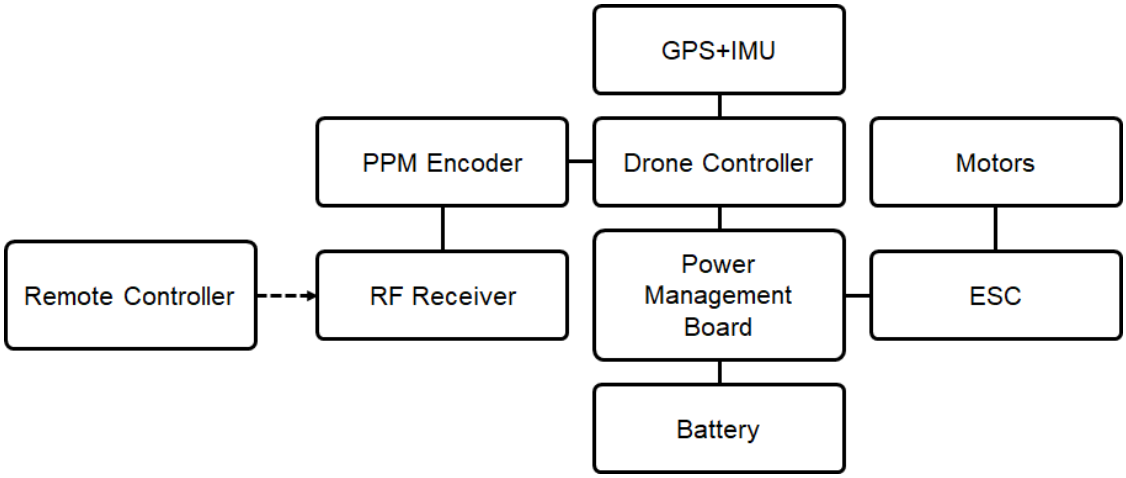


그림 3.1 RF 송·수신기를 통한 드론 수동 제어 구성도

구성도의 중심부에 있는 Naza-M Lite는 DJI사의 드론 컨트롤러로서 전체적인 드론의 제어를 담당한다. 또한 내장된 관성 측정 장치(IMU)를 통해 드론의 기울기를 측정하여 모터를 제어한다. Power Management Board는 드론에 부착된 ESC와 컨트롤러의 전원 공급과 과부하 방지회로가 포함되어있다. 컨트롤러는 상시 GPS의 데이터를

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

수신하고 현재의 위치를 컨트롤러가 판단하고 주행 시에 드론의 위치 보정데이터로 사용된다. 기본적으로 상용 드론 시스템은 PPM Encoder(RF-수신기와 컨트롤러간 통신을 지원하는)를 통해 RF 리모트 컨트롤러로 제어된다.

본 구성과 같이 저가의 상용 모듈들과 컨트롤러 등을 이용하여 드론 원격 제어에 사용되는 일반적인 플랫폼으로 드론을 설계하고 제작한 후 RF리모트 컨트롤러로 비행을 시연한 자료를 다음 그림 3.2로 첨부하였다.

그림 3.2와 같이 시동, 이륙 및 주행, 착륙하는 데에는 문제가 없었다. 다음 단계에서는 RF 송·수신기를 제거하고 새로 싱글보드컴퓨터를 장착하여 자율적인 비행이 가능한 플랫폼으로 변경하는 과정을 보여준다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 3.2 RF Remote Controller를 통한 드론 비행 시연

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 드론-싱글보드컴퓨터 기반의 LTE 통신 시스템 개발

상용 드론 시스템은 대부분 RF(2.4GHz) 통신의 리모트 컨트롤러를 통해 1:1로 수동 제어가 가능하다. 하지만 이를 대체하여 LTE 모뎀을 통해 드론 제어 및 감시에 관련된 패킷을 송수신 가능하도록 하기 위해 상용 싱글보드컴퓨터 및 LTE 모듈을 드론의 컨트롤러와 연동하였다. 컨트롤러와 싱글보드컴퓨터는 MAVLINK 라는 프로토콜로 통신을 한다. 그림 3.3은 드론과 싱글보드컴퓨터가 연동된 시스템에 대한 구성도를 나타낸다.

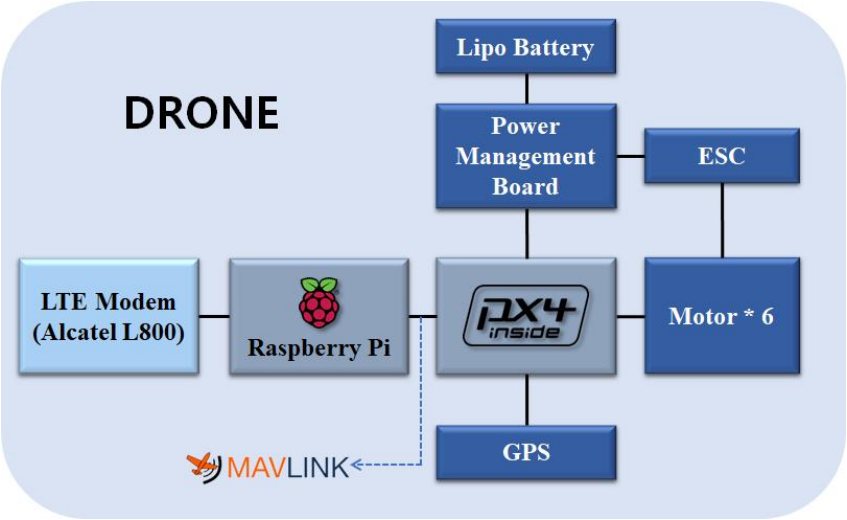


그림 3.3 드론-싱글보드컴퓨터 기반의 LTE 통신 시스템 구성도

다음 그림 3.4는 싱글보드컴퓨터와 컨트롤러를 연동하기 위해 설계된 드론의 전체적인 결선도이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

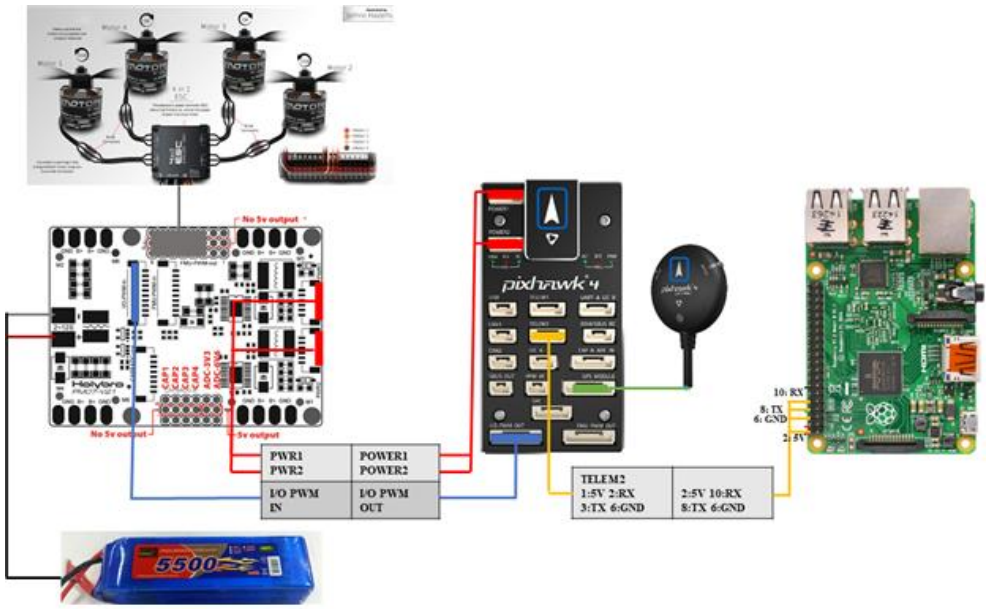


그림 3.4 드론-싱글보드컴퓨터 기반의 드론 내부 결선도

UART 통신으로 컨트롤러를 제어하고 감시할 수 있도록 포트를 지원하는 컨트롤러로 교체하여 진행하였다. 이로 인해 싱글보드컴퓨터로 시동, 이륙, 착륙 알고리즘을 직접 코딩할 수 있게 되고 GPS 및 IMU 센서의 데이터를 취득할 수 있게 된다.

다음 그림 3.5는 싱글보드 컴퓨터가 컨트롤러로부터 드론 상태에 대한 데이터를 취득한 내역을 보여주는 자료이다.

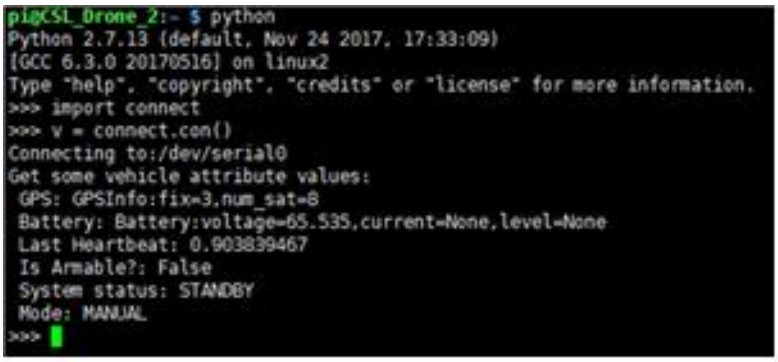


그림 3.5 싱글보드컴퓨터상에서 드론의 상태 데이터 확인

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

컨트롤러로부터의 데이터의 수신은 간단하지만 드론을 제어하기 위해 컨트롤러로 제어데이터를 송신하기 위해서는 컨트롤러와의 프로토콜 동기화가 필요하다. 적용 가능한 많은 프로토콜 중에 드론 자율주행에 세계적으로 많이 사용되고 있는 MAVLINK라는 프로토콜을 사용하여 드론 비행모드 변경에 대한 제어함수를 작성하였다. 다음 그림 3.6은 실제 송신(Request)한 데이터와 수신(Response)된 데이터를 보여준다.

```
>>> connect.SetMode(v,'ACRO')
CURRENT MODE: ACRO
>>> connect.SetMode(v,'ALTCTL')
CURRENT MODE: ALTCTL
>>> connect.SetMode(v,'FOLLOWME')
CURRENT MODE: FOLLOWME
```

그림 3.6 커맨드를 통한 드론의 비행 모드 변경

MAVLINK를 사용하여 드론을 제어하기 위해서는 커맨드를 직접 입력해야하는 번거로움이 있다. 또한 원격 제어를 하기 위해서는 드론에 부착된 싱글보드컴퓨터에 자동화 알고리즘이 작성되어야 한다. 결국 싱글보드컴퓨터가 MAVLINK를 통해 컨트롤러로 명령을 송신하는 프로세스를 다음과 그림 3.7과 같이 환경설정을 하였다.

```
sudo apt-get update -y
sudo apt-get install cmake build-essential colordiff astyle
git libcurl4-openssl-dev libtinyxml2-dev doxygen -y
```

그림 3.7 업데이트 및 라이브러리 설치 커맨드

```
git clone https://github.com/Dronecode/DronecodeSDK.git
cd DronecodeSDK
git checkout master
```

그림 3.8 드론코드SDK 라이브러리 설치 커맨드

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

```
git submodule update --init --recursive
make default
```

그림 3.9 서브모듈 업데이트 커맨드

이후 새로 C++기반의 MAVLINK 프로토콜에 관련된 라이브러리와 새로운 코드를 작성하여 MAVLINK를 통한 시동, 이륙, 착륙에 관한 명령을 자동화하였다. 그림 3.10과 그림 3.11은 드론의 이륙과 착륙에 관련된 파일을 실행시킨 결과이다.

```
pi@CSL_Drone_2:~/DroneCore/example/takeoff_land $ mkdir build
pi@CSL_Drone_2:~/DroneCore/example/takeoff_land $ cd build
pi@CSL_Drone_2:~/DroneCore/example/takeoff_land/build $ cmake ..
pi@CSL_Drone_2:~/DroneCore/example/takeoff_land/build $ make
```

그림 3.10 드론 TAKEING OFF LANDING 실행파일 컴파일 및 디버깅 커맨드

```
pi@CSL_Drone_2:~/DroneCore/example/takeoff_land/build $ ./takeoff_and_land
```

그림 3.11 드론 TAKEING OFF LANDING 명령 실행 커맨드

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 드론 원격제어 및 감시를 위한 네트워크 구축

1. LTE기반의 TCP/IP 소켓 통신을 이용한 Server-Client 구축

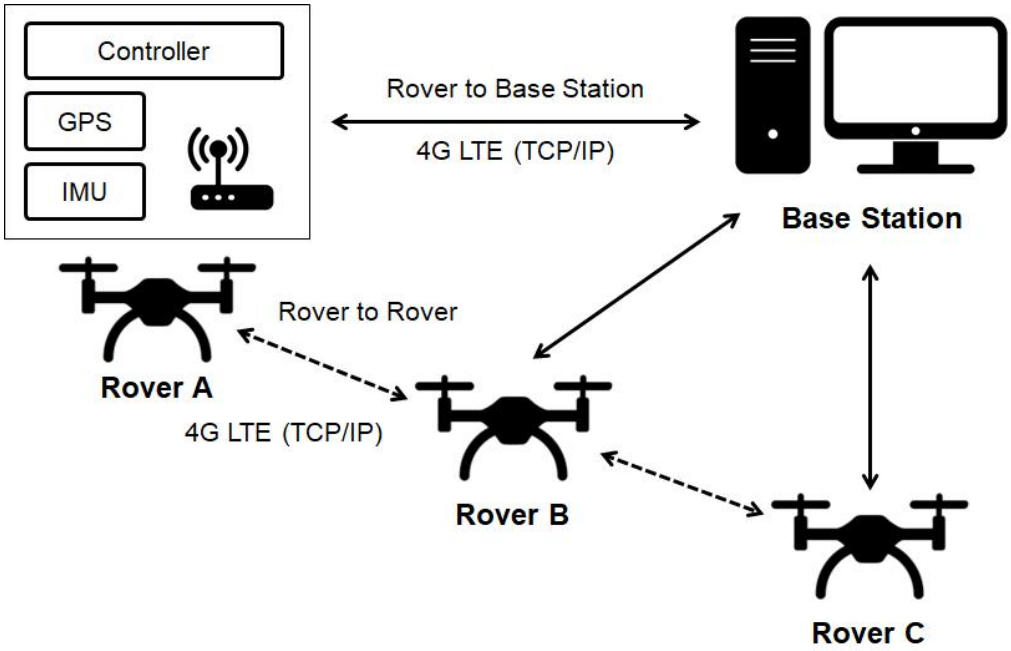


그림 3.12 Base Station(Server)와 Rover module(Client) 간의 통신 망 구성도

UAV의 자동비행기능에 있어, 다수의 객체가 자율비행을 했을 경우를 대비하여 네트워크를 설계하였다. 위의 그림에서 Base Station(BS)이라고 표현된 PC는 Server PC이고 이는 관제탑의 역할로써 로버간의 충돌을 회피하기 위해 실시간 주행 루트를 변경해주는 명령을 주는 것에 대비되어 설계하였다.

또한 로버 사이에 위치 정보 공유를 하여 주행루트를 수정할 수 있도록 하기 위해 로버와 로버 사이의 통신이 가능하도록 설계하였다. 본 연구의 모든 통신망은 통신사에서 제공하는 LTE 네트워크 서비스를 이용했다. 다음은 서버와 클라이언트 사이의 통신 흐름도이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

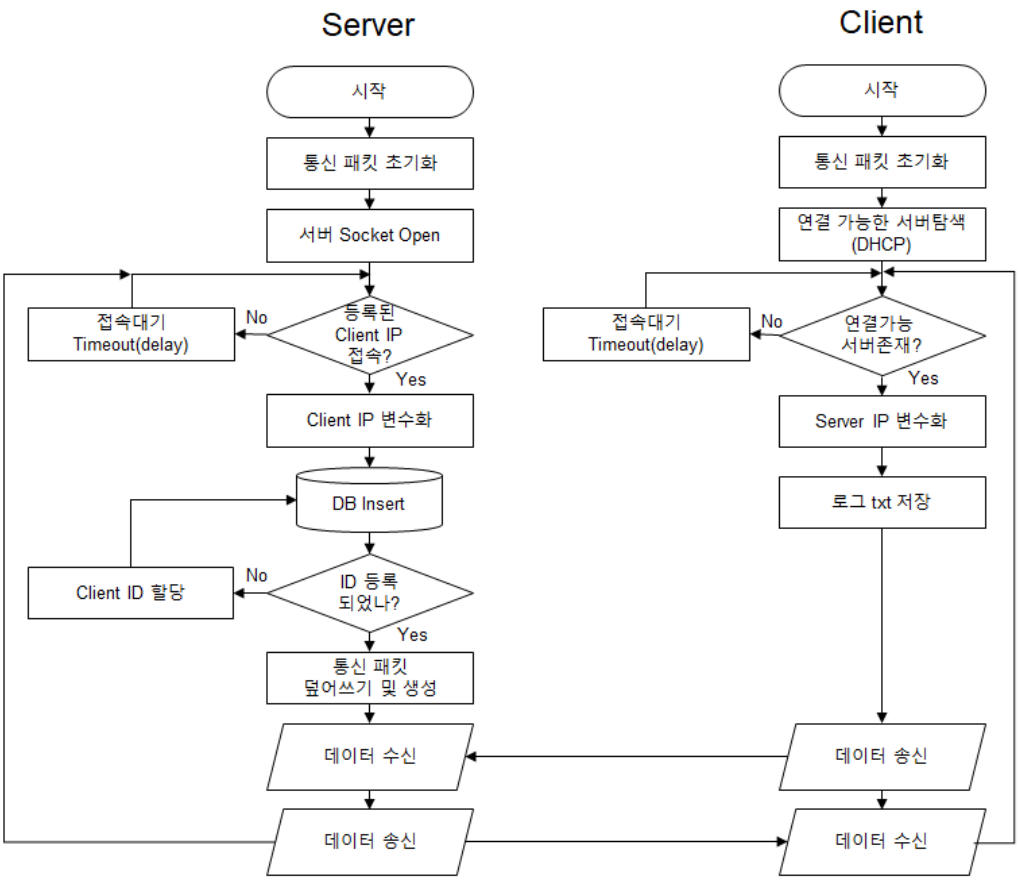


그림 3.13 Base Station(Server)와 Rover module(Client) 간의 시스템 흐름도

위의 그림 3.13 에서 볼 수 있듯이 서버와 클라이언트간의 상호 통신에서 각 구성에 따른 테이블을 형성하고 데이터를 관리한다. 위의 내용에 해당하는 무선 통신을 수행하기 위해 LTE 모듈을 사용하였고, 싱글보드컴퓨터의 USB 포트를 이더넷(Ethenet) 확장 포트로 사용하여 아래의 그림 3.14 와 같이 ppp로 ip를 할당받았다.

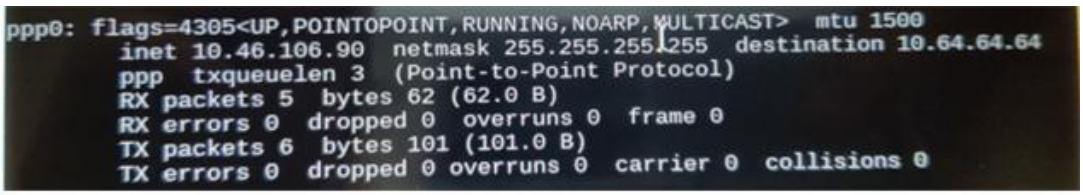


그림 3.14 LTE 모듈을 통한 싱글보드컴퓨터의 ip 할당

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1) BS 스테이션(server) - 로버(client) 간 통신

통신 알고리즘은 통신사에서 제공하는 LTE 네트워크 서비스를 활용하여 TCP/IP 소켓통신 기반으로 작성하였다. 데이터 패킷은 식별자, 시간, GPS, IMU, 고도, 속도, 메시지 등으로 이루어져 있고 본 데이터를 스테이션과 로버 사이에 송수신 한다. 본 프로세스를 통하여, 스테이션은 각 로버에 대한 위치정보 및 이동정보를 확인하고, 이에 대한 이동명령을 내릴 수 있다. 다음은 설계된 패킷 내역이다.

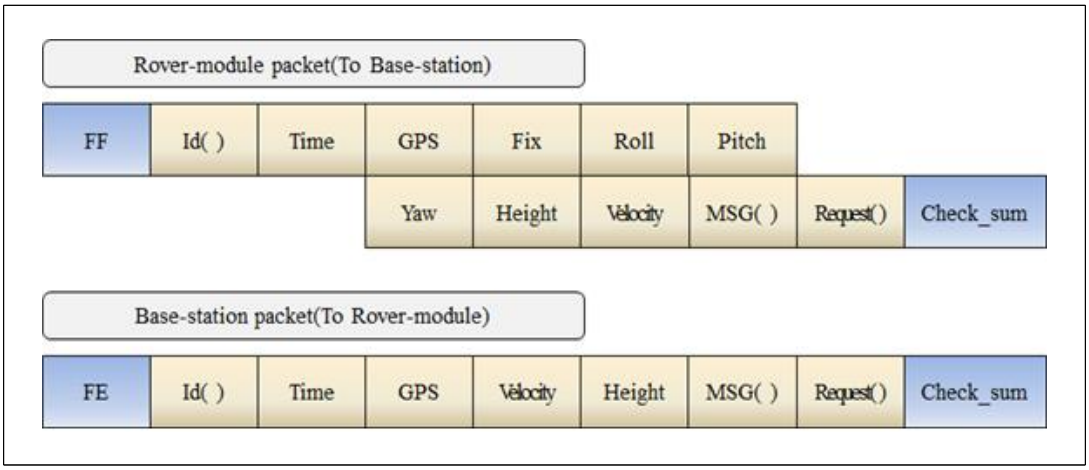


그림 3.15 스테이션과 로버 간의 전송 패킷 구성

2) 로버 - 로버 사이 소켓 통신

BS 스테이션을 경유하여, 로버간의 IP를 확인하고, 이를 기반으로 하여 쌍방간 소켓 통신을 가지게 된다. 아래 그림과 같이 연결이 된 로버는 스테이션 명령에 의존하지 않고, 서로의 위치를 정보를 공유하게 된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

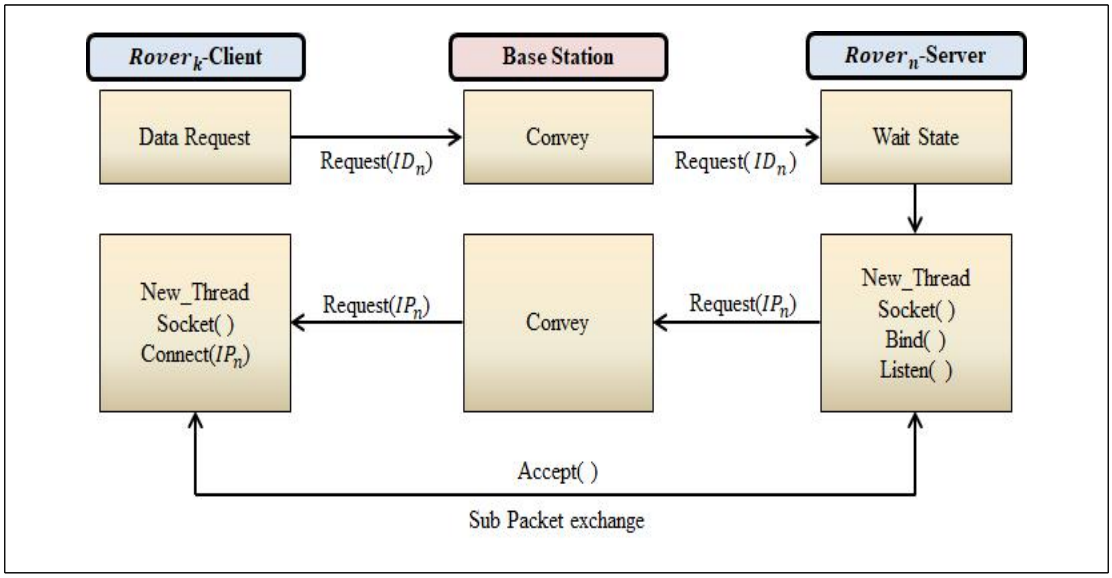


그림 3.16 로버(k)와 로버(n) 사이의 소켓 이벤트 흐름도

본문의 내용과 같이 스테이션과 로버 사이에 송수신된 실제 데이터 패킷의 형태는 다음과 같다.

```
ID:1 ::FF/1/126.934100,35.139877/2/42/161.76,196.53/0.246453/196.27/msg/63
ID:1 ::FF/1/126.934101,35.139876/2/43/161.8,196.52/0.165595/195.99/msg/62
ID:1 ::FF/1/126.934102,35.139875/2/44/161.78,196.48/0.119106/195.99/msg/63
ID:1 ::FF/1/126.934103,35.139875/2/45/161.8,196.45/0.251399/195.99/msg/62
ID:1 ::FF/1/126.934104,35.139874/2/45/161.82,196.44/0.377910/195.7/msg/62
ID:1 ::FF/1/126.934106,35.139874/2/46/161.83,196.44/0.566189/195.99/msg/63
ID:1 ::FF/1/126.934107,35.139874/2/46/161.84,196.42/0.155602/196.07/msg/63
ID:1 ::FF/1/126.934108,35.139874/2/47/161.84,196.4/0.349572/196.07/msg/62
ID:1 ::FF/1/126.934109,35.139873/2/48/161.91,196.42/0.123529/195.7/msg/62
```

그림 3.17 server to client 패킷 전달

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

```
SE/1/126.934049,35.139019/1.545477/manual/40
SE/1/126.934049,35.139019/1.545477/manual/40
SE/1/126.934086,35.138713/2.545477/manual/40
SE/1/126.934086,35.138713/2.545477/manual/40
SE/1/126.934086,35.138713/2.545477/manual/40
SE/1/126.934086,35.138713/2.545477/manual/40
SE/1/126.934086,35.138713/2.545477/manual/40
SE/1/126.933931,35.139076/0.545477/manual/40
SE/1/126.933931,35.139076/0.545477/manual/40
```

그림 3.18 client to server 패킷 전달

2. 데이터베이스(DB)

데이터베이스(DB)는 Server PC에 귀속되어있다. 데이터베이스는 드론에 대한 데이터를 일정 시간마다 기록하고 저장하기 위해 구축하였다. 설계한 데이터베이스의 데이터 테이블은 다음과 같다.

1) Rover packet(P_RV)의 DB 테이블

```
MariaDB [uav]> desc p_rv;
+-------+-------------+------+-----+---------------------+-------------------------------+
| Field | Type        | Null | Key | Default             | Extra                         |
+-------+-------------+------+-----+---------------------+-------------------------------+
| R_ID  | varchar(10) | NO   | PRI | NULL                |                               |
| R_TI  | datetime    | NO   |     | current_timestamp() | on update current_timestamp() |
| R_GP  | varchar(50) | YES  |     | NULL                |                               |
| R_FI  | char(10)    | YES  |     | NULL                |                               |
| R_RO  | char(10)    | YES  |     | NULL                |                               |
| R_PI  | char(10)    | YES  |     | NULL                |                               |
| R_YA  | char(10)    | YES  |     | NULL                |                               |
| R_HE  | char(10)    | YES  |     | NULL                |                               |
| R_VE  | char(10)    | YES  |     | NULL                |                               |
| R_MS  | char(10)    | YES  |     | NULL                |                               |
| R_RE  | char(10)    | YES  |     | NULL                |                               |
| R_CS  | char(10)    | YES  |     | NULL                |                               |
+-------+-------------+------+-----+---------------------+-------------------------------+
```

그림 3.19 Rover Packet Table

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

- R_ID : 로버의 아이디로서 다수의 로버의 데이터를 구분 짓기 위하여 구성하며, 가변문자형으로 길이는 10으로 지정하고, primary key를 통하여 중복값이 발생하지 않도록 구성한다.
- R_TI : 입력시 시간을 datetime 기준으로 저장하며, 수정시 갱신된다.
- R_GP : 로버의 GPS모듈로 부터의 위도,경도 값의 데이터를 가변문자형 길이50에 저장한다.
- R_FI : FIX 값으로 gps 정확도를 유추 할 수 있는 데이터이며 문자형 길이 10으로 저장한다,
- R_RO, PI, YA, HE, VE : IMU GPS를 통한 현재 로버의 정보, 3축, 높이, 속도에 관한 데이터를 문자형 길이10으로 저장한다.
- R_MS : 로버로부터 베이스스테이션을 데이터를 보낼 때 사용하는 데이터이다. 문자형10으로 짧은 데이터를 보내는 형식을 기반한다.
- R_RE : 명령에 해당하는 데이터를 문자형 길이 10으로 저장한다.
- R_CS : checksum이며, 이 값을 기준 하여 데이터의 오류를 검증한다.

2) Base Station packet(P_BS)의 DB 테이블

```
MariaDB [uav]> desc p_bs;
+-------+-------------+------+-----+---------------------+-----------------------------+
| Field | Type        | Null | Key | Default             | Extra                       |
+-------+-------------+------+-----+---------------------+-----------------------------+
| B_ID  | varchar(10) | NO   | PRI | NULL                |                             |
| B_TI  | datetime    | NO   |     | current_timestamp() | on update current_timestamp() |
| B_VE  | char(10)    | YES  |     | NULL                |                             |
| B_HE  | char(10)    | YES  |     | NULL                |                             |
| B_MS  | char(10)    | YES  |     | NULL                |                             |
| B_RE  | char(10)    | YES  |     | NULL                |                             |
| B_CS  | char(10)    | YES  |     | NULL                |                             |
+-------+-------------+------+-----+---------------------+-----------------------------+
```

그림 3.20 Base Station Packet Table

- B_ID : 시스템의 고유값을 지정, 가변문자형 길이 10으로 지정하며, primary key를 통하여 고유값으로 저장한다.
- B_TI : 로버로 데이터를 송신하는 시간을 저장하며, 갱신 시 재저장한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

- B_VE,HE : 로버로 속도와 고도에 대한 명령정보를 지정한다.
- B_MS : 로버로 메시지를 보낼 때 사용하며, 문자형10으로 짧은 데이터를 보내는 형식을 기반한다.
- B_RE : 명령에 해당하는 데이터를 문자형 길이 10으로 저장한다.
- B_CS : checksum이며, 이 값을 기준 하여 데이터의 오류를 검증한다.

3) IP connection table(C_IP)의 DB 테이블

```
MariaDB [uav]> desc c_ip;
+--------+--------------+------+-----+---------+----------------+
| Field  | Type         | Null | Key | Default | Extra          |
+--------+--------------+------+-----+---------+----------------+
| C_NU   | int(5)       | NO   | PRI | NULL    | auto_increment |
| C_ID   | varchar(30)  | NO   |     | NULL    |                |
| C_IP   | char(15)     | NO   |     | NULL    |                |
| S_IP   | varchar(30)  | NO   |     | NULL    |                |
| C_CR   | varchar(10)  | YES  |     | NULL    |                |
+--------+--------------+------+-----+---------+----------------+
```

그림 3.21 IP Connection Table

- C_NU : 컨넥트 풀의 고유번호를 지정한다, primary key, auto increment를 통하여 고정값과 자동 증가를 통해 겹치지 않는 고유한 인트형 5자리까지의 값을 저장한다.
- C_ID : 통신의 주체가 되는 로버의 아이디를 가변형문자 30자로 저장한다.
- C_IP : 주체가 되는 로버의 IP를 저장한다. 이값을 기준으로하여 후에 접속할 로버가 연결을 시도하게 된다.
- C_CR : 통신의 참여체로서 통신의 주체가 되는 로버로 접속하는 로버의 아이디를 저장한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. GPS 데이터 오차 감소를 위한 RTCM 디퍼렌셜 보정

원격 제어를 위한 UAV 의 위치데이터는 매우 중요하다. 특히, 건물 등과 같은 구조물이 있는 곳에서는 잘못 된 위치 데이터 값으로 인해 드론의 주행이 불안정할 수 있다. 다음 사진은 높은 건축물 바로 옆에서 측정된 GPS 데이터를 보여준다.

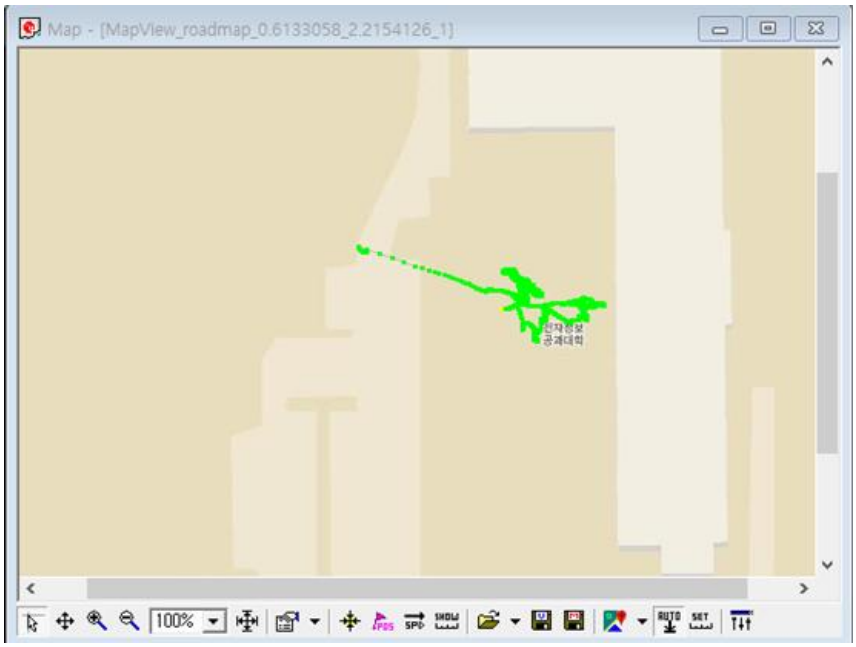


그림 3.22 오차가 있어 보정이 필요한 위치 정보값

위 그림은 보면 건물에 반사되어 수신된 GPS 데이터 값과 직선으로 수신된 GPS 데이터 값이 서로 교차되어 매우 불규칙적이고 신뢰하기 어려운 위치 데이터가 출력되는 것을 확인할 수 있다. 이를 해결하기 위해 RTCM의 디퍼렌셜 GNSS 보정 메시지를 수신할 수 있도록 싱글보드컴퓨터와 서버 PC에 새로운 시스템을 적용했다. 본 프로세스의 구성도는 다음과 같다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

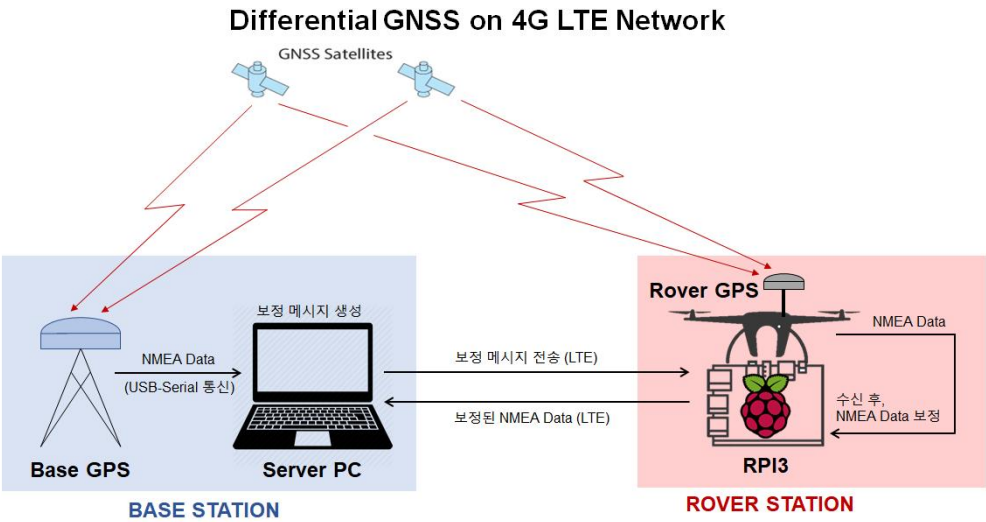


그림 3.23 LTE 망을 통한 디퍼렌셜 보정 메시지 송수신 플랫폼

위 그림에서 표현된 BASE는 상시 고정되어 있는 GPS 수신기(BS)이고 ROVER와 RPI는 드론에 장착되어 있는 GPS모듈과 메인 컨트롤러이다. BASE 모듈은 서버(Server) PC와 장착이 되어있고 GPS의 위치데이터를 보정하기 위해 상시 고정위치에 있어야 한다. BASE 모듈이 RTCM 디퍼렌셜 DNSS 메시지를 PC로 송신하면 국내 통신사의 LTE 네트워크 서비스를 통해 드론의 메인 컨트롤러인 RPI3로 전송이 되고 RPI3는 ROVER 모듈로부터 수신한 GPS 값을 보정하게 된다. 보정된 위치데이터는 다시 서버 PC로 전송되어 드론의 보다 정확한 위치를 측정할 수 있다.

서버 PC에서는 디퍼렌셜 GNSS 보정 메시지를 출력할 수 있도록 U-Blox에서 제공하는 u-center (ver-8.24) 프로그램을 활용하였다. 다음 그림은 본 프로그램에서 보정 메시지를 출력하기 위해 해야 할 설정에 대해서 보여준다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

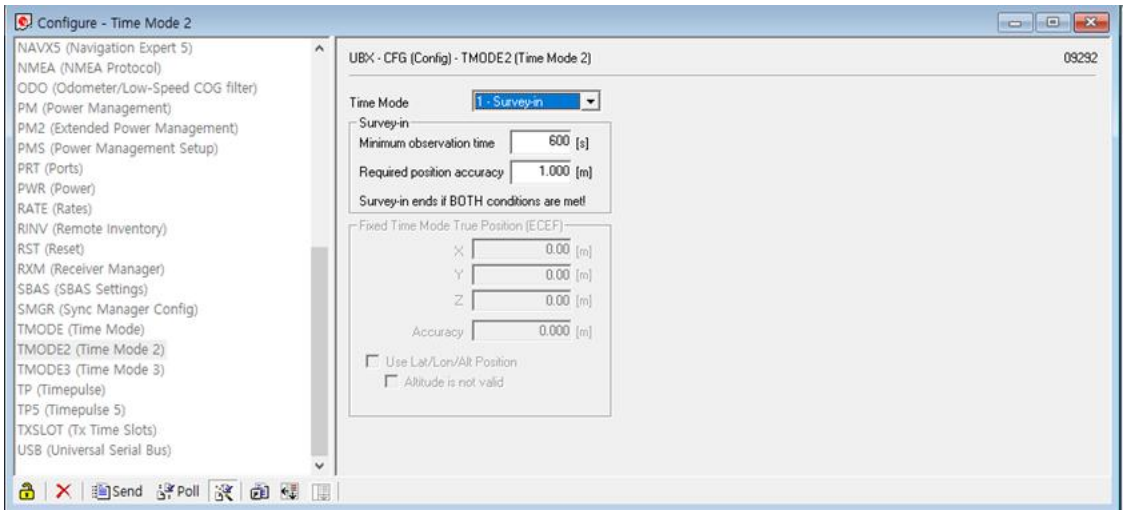


그림 3.24 Base 모듈의 디퍼렌셜 GNSS 보정 메시지 취득

Time Mode를 1-Survey in 으로 설정 후 시간(sec)과 거리(m)를 입력한다. 여기에서 시간은 측정되는 위성 데이터를 수집하는데 걸리는 최소한의 시간이고, 거리는 요구되는 위치 정확성이다. 이는 임의로 설정할 수 있다. 최소한의 시간이 길수록 요구되는 위치 정확성의 거리가 짧을수록 보정 메시지를 얻어내는 데에 시간이 오래 걸린다.

다음 그림은 RTCM 2.4의 디퍼렌셜 GNSS 보정 메시지를 적용하기 전의 한 점에서의 위치 데이터와 적용한 후의 한 점에서의 위치 데이터를 비교한 사진이다.

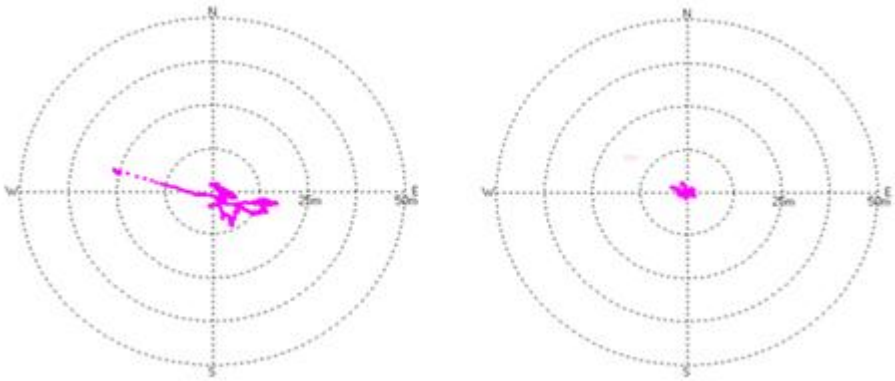


그림 3.25 특정 위치에 대한 보정 전(좌측)과 보정 후(우측)의 위치정보 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

보정 메시지 적용 전의 데이터는 25m 이상의 오차를 보이는 반면, 보정 메시지 적용 후의 데이터는 오차가 현저히 줄어든 것을 확인할 수 있다.

4. GUI (Graphic User Interface) 기반 모니터링 시스템

Graphic User Interface (GUI)는 모니터링 시스템을 구성하기 위한 가장 중요한 Rover의 위치를 지도상에 출력하고, 그 데이터에 따른 위치의 변화 및 추적, 목표지점의 좌표 및 데이터를 전송하기 위한 서버 PC 의 일부 시스템이다.

본 논문 시스템의 프로세스를 실행하게 되면 데이터를 수신 받은 후 수신된 데이터를 가공하여 GUI 상의 로버 모듈에 표시 하며 원격으로 로버를 조정 시 로버와 목표지점까지의 거리 및 목표지점의 위경도, 속도, 상태 등을 GUI에 표시한다.

다음은 WxPython 모듈과 Python을 언어를 이용하여 Rover로부터 받은 데이터를 기반으로 구성한 실제 GUI 사진이다.

그림 3.26 GUI 시스템 실행 시 화면

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

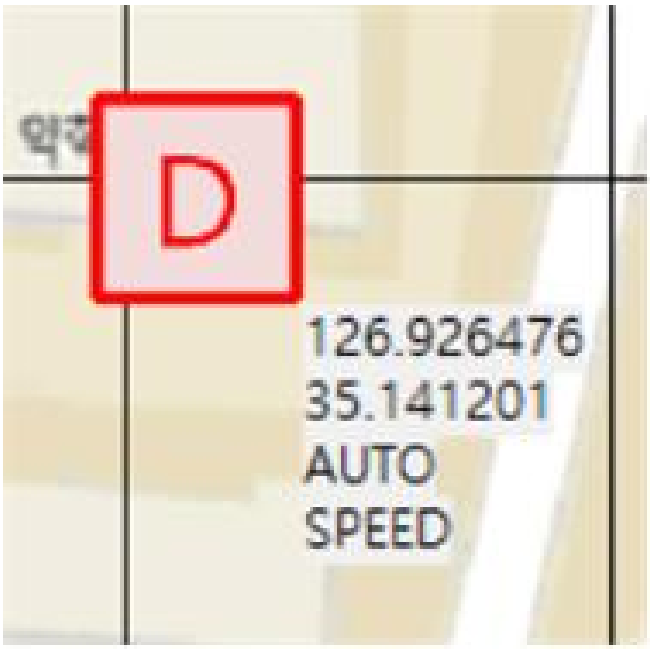


그림 3.27 Rover 위치 지정(클릭) 시 데이터 출력

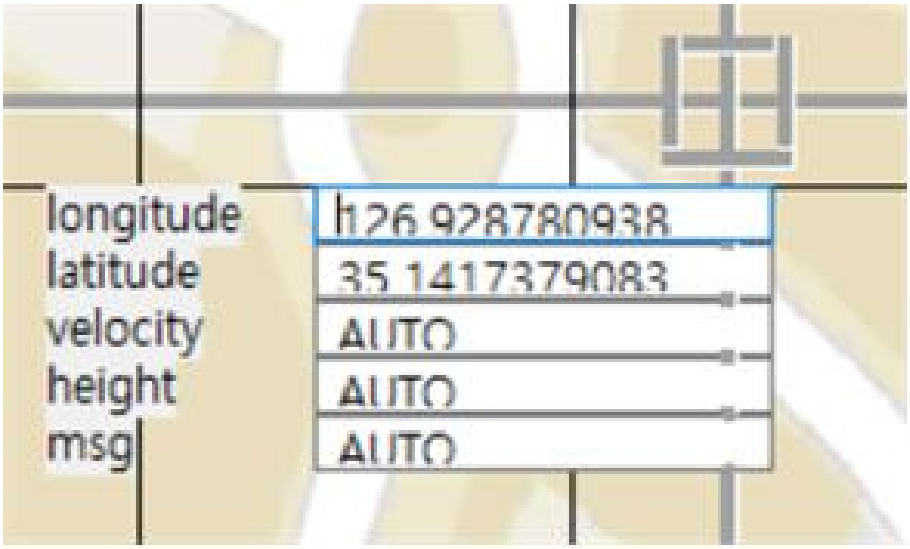


그림 3.28 Rover 목표지점 지정(두 번째 클릭) 시 GUI 구성

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제4장 드론 능동 제어 및 감시 시스템 운용 시연

제1절 LTE 기반 UAV 운용 시스템

본 시스템은 통신사에서 제공하는 LTE 통신 네트워크 서비스를 활용하여 드론 운용을 함에 있어, 위치 및 거리의 제약 없이 하나의 UAV운용 서비스 플랫폼을 명시하고자 개발되었다. 다음은 UAV 운용 시스템의 서비스를 이해하기 쉽도록 도식화한 그림이다.

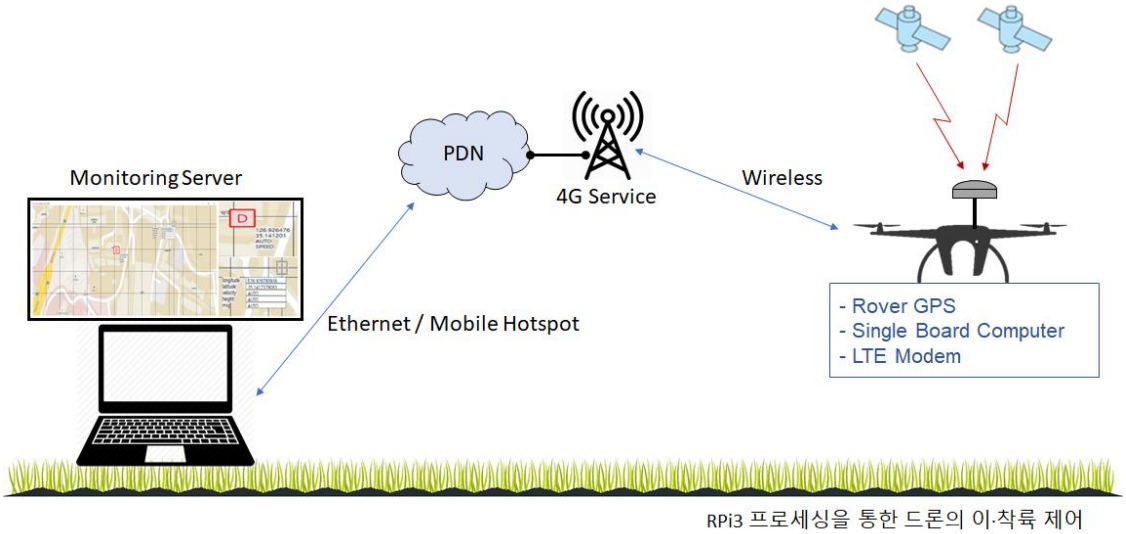


그림 4.1 LTE 기반 UAV 운용 서비스

본 시스템의 목표은 미리 지정한 두 지점 사이의 이동을 목표로 하며, 드론은 정해진 루트를 따라 이동하는 것이다. 또한 Base Station에서 모니터링 및 제어가 가능하도록 구현하는 것이다.

다음에 제시된 그림은 본 연구의 결과이자 LTE 네트워크를 통해 서버에서 모니터링 및 제어가 가능한 드론 운용 시스템의 시스템 구성도이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

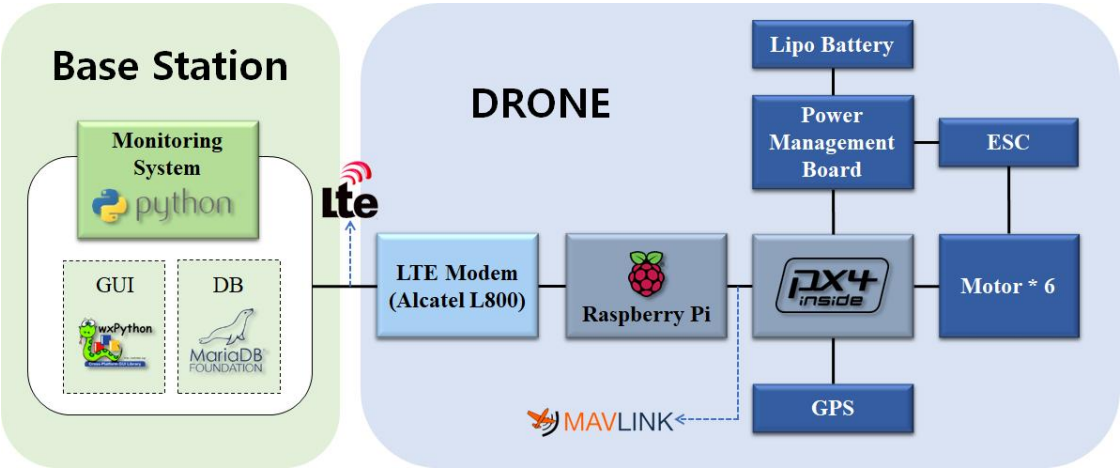


그림 4.2 LTE 기반 UAV 운용 서비스 시스템 구성도

사용된 드론의 프레임은 DJI의 F550 이라는 모델이며, Hexa-copter 형태의 드론이다. 드론의 컨트롤러는 Pixhawk라는 컨트롤러를 사용하였고 이를 Raspberry Pi라는 싱글보드컴퓨터와 연동하여 LTE Modem을 통해 LTE 통신 네트워크에 접속이 가능하도록 설계 및 구축하였다.

다음은 최종적으로 시동, 이륙 및 이동, 착륙을 자동화 하여 본 개발 플랫폼으로 최종 시연에 성공한 현장 사진이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 4.3 LTE 기반 UAV 운용 서비스 시스템 드론 자동 비행 시연

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 UAV 기반 격납고의 입·출고 시스템

본 시스템은 UAV가 화물을 격납고로 이송하였을 때, 이를 감지하고 반응하기 위해 드론과 격납고간의 통신을 하고 격납고의 입고 및 출고에 관련된 제어를 담당하는 시스템이다. 다음 그림은 설계된 시스템의 통신 시스템 구성도이다.

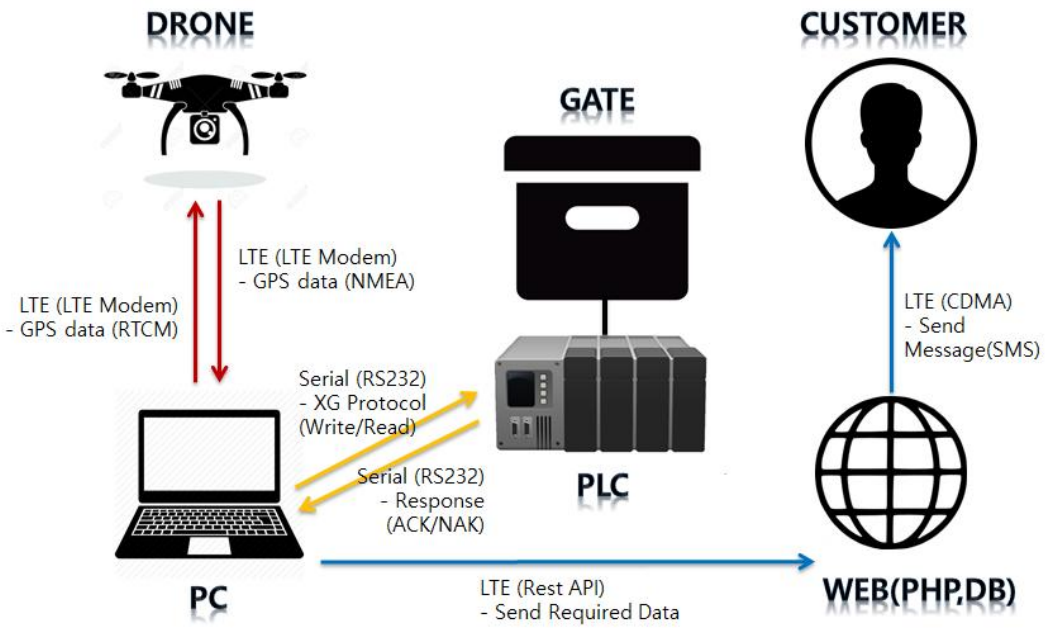
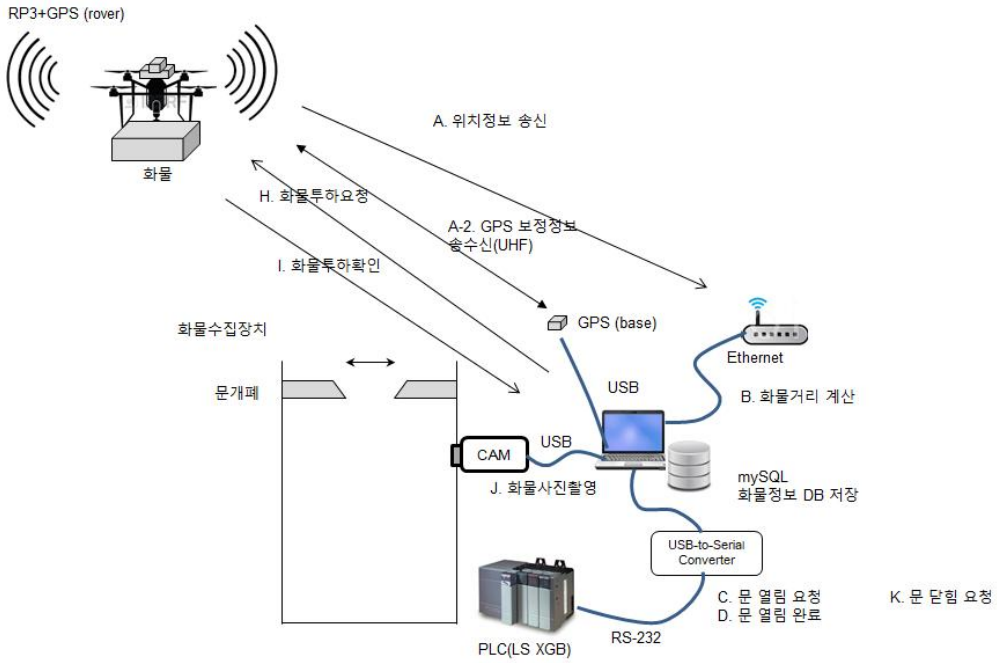


그림 4.4 UAV 기반의 격납고의 입·출고 시스템 구성도

UAV는 쿼드콥터 드론으로 GPS 기반으로 위치 데이터를 수신한다. 드론은 싱글보드 컴퓨터와 함께 로버(Rover) GPS 모듈이 장착되어 있고, 격납고의 메인 PC에는 베이스(Base) GPS 모듈이 장착되어 RTCM 2.4 디퍼렌셜 GNSS 보정 메시지를 이용하여 GPS의 오차를 줄여 격납고의 정확한 게이트에 화물을 안착시킬 수 있도록 개발되었다. 게이트는 Programmable Logic Controller (PLC)를 통해 제어된다. 메인 PC에서 PLC의 메모리의 읽고 쓰기를 통해 PLC를 제어하기 위해 해당 PLC의 전용 프로토콜인 XG Protocol을 통해 각 격납고(게이트) 내부의 여러 모듈들을 제어한다. 다음 그림4.5 에서 본 시스템의 구성 및 시나리오를 보여준다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



RP3: Raspberry Pi 3, PLC: Programmable logic controller, GPS: Global Positioning System, CAM: camera

그림 4.5 UAV 기반의 격납고의 입·출고 시나리오

본 시스템의 운영 소프트웨어는 Python 2.7로 프로그래밍 되었다. 로버 GPS 모듈은 항상 로버의 GPS 정보를 싱글보드컴퓨터로 전송하며 기본 프로세스의 오류 범위는 약 1m이다. 보다 정확한 위치 정보가 필요한 경우, 보정 프로세스를 활성화하고 오류를 20cm 정도로 줄일 수 있다.

메인 PC의 운영 소프트웨어는 Python 2.7로 작성되어 mySQL을 이용한 데이터베이스(DB)와 연동이 되어있다. DB의 테이블은 GPS 데이터에 대한 정보, NMEA 데이터, RTCM 디퍼렌셜 GNSS 보정 메시지, 드론과 격납고 사이의 거리데이터를 포함한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다음 표4.1 은 본 시스템을 구성하는 프로세스들을 정리한 표이다.

순서	프로세스	송신	수신	interface
A	위치정보송수신 및 보정	Drone	PC	TCP (LTE)
B	화물거리계산	-	-	PC
C	자동 입고 (PLC)	PC/PLC	PC/PLC	USB-Serial
D	수동 입고 (PLC)	PC/PLC	PC/PLC	USB-Serial
E	출고 (PLC)	PC/PLC	PC/PLC	USB-Serial
F	사진촬영	PC	Webcam	USB
G	Database	-	-	PC (MySQL)
H	SMS 전송	PC	Web	TCP (LTE)
I	GUI	-	-	PC (WX)

표 4.1 UAV 기반의 격납고의 입·출고 시스템의 프로세스

다음 알고리즘은 PLC와 연동된 입·출격납고 서비스의 흐름도이다.

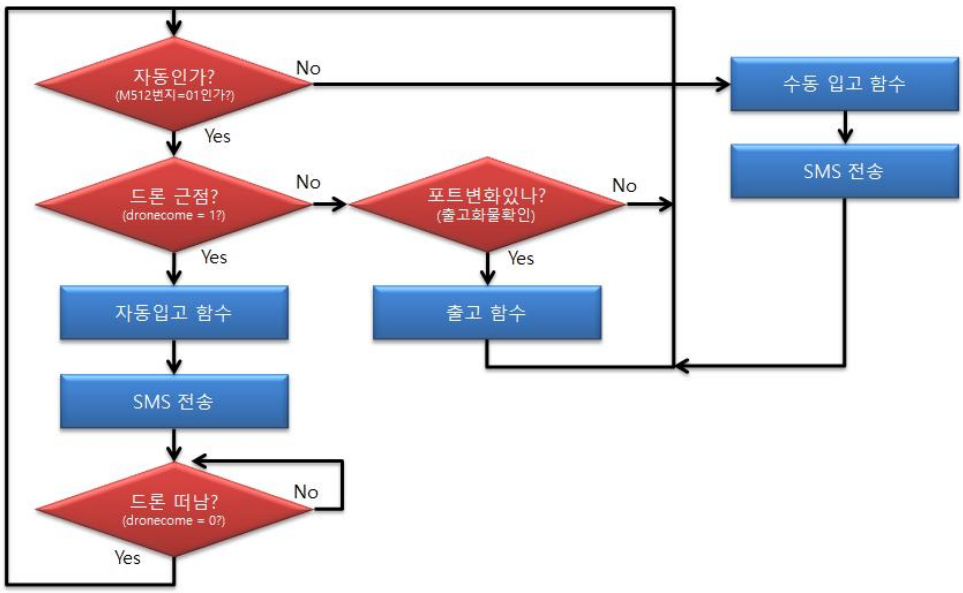


그림 4.6 UAV 기반의 격납고의 입·출고 시스템 흐름도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

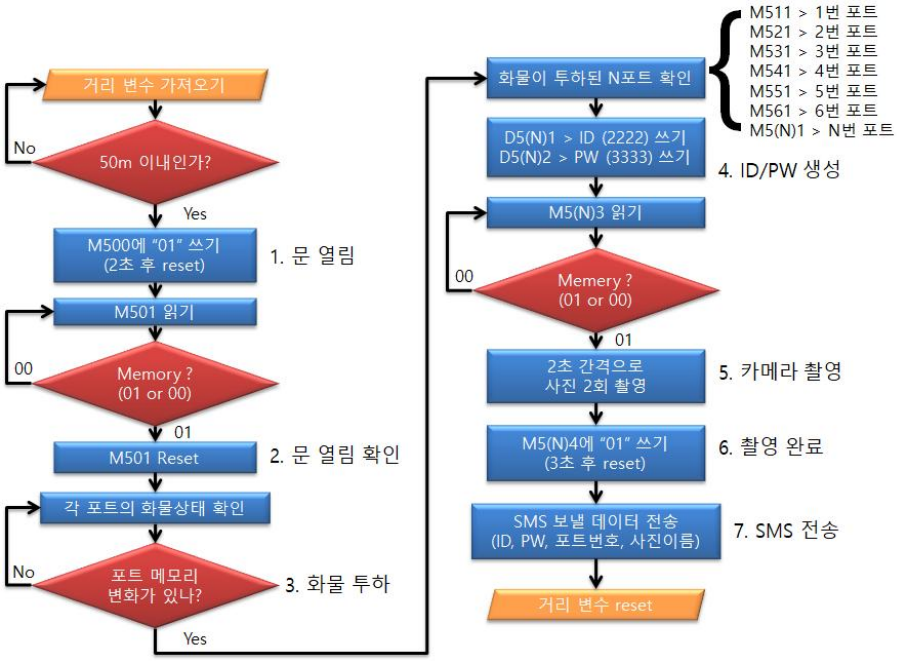


그림 4.7 자동입고 함수 흐름도

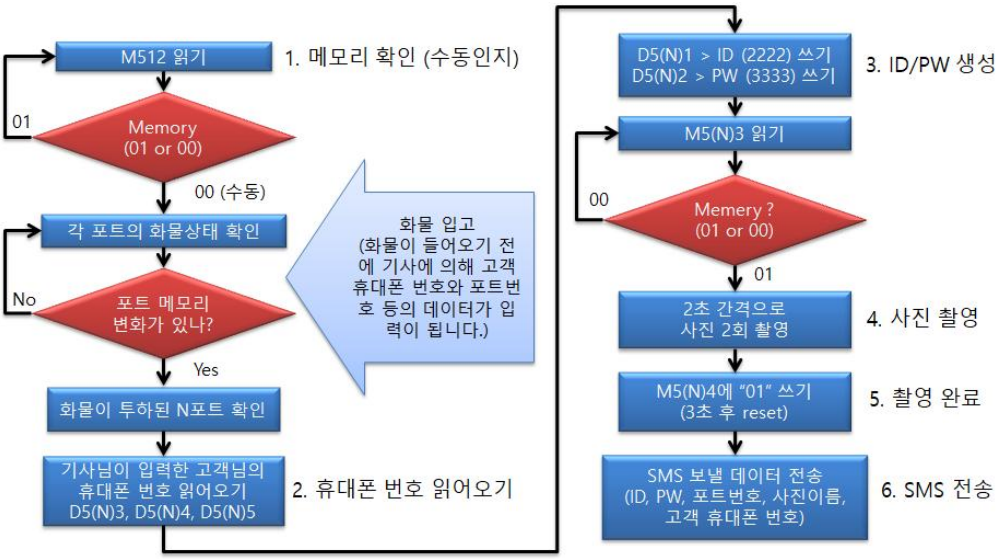


그림 4.8 수동입고 함수 흐름도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

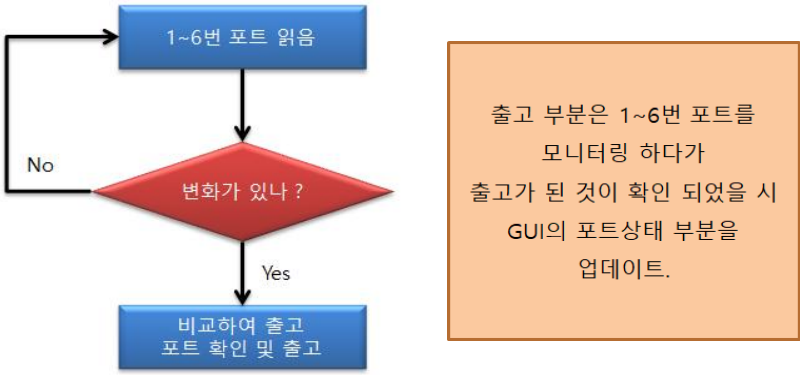


그림 4.9 출고 함수 흐름도

다음은 메인 격납고의 메인 PC에서 wx_python 모듈을 통해 설계한 GUI 이다. 현재 드론의 위치, 격납고 각 포트의 입·출고 상태 및 출고 시에 사용자 ID 및 비밀번호를 표기하여 보여줄 수 있다.

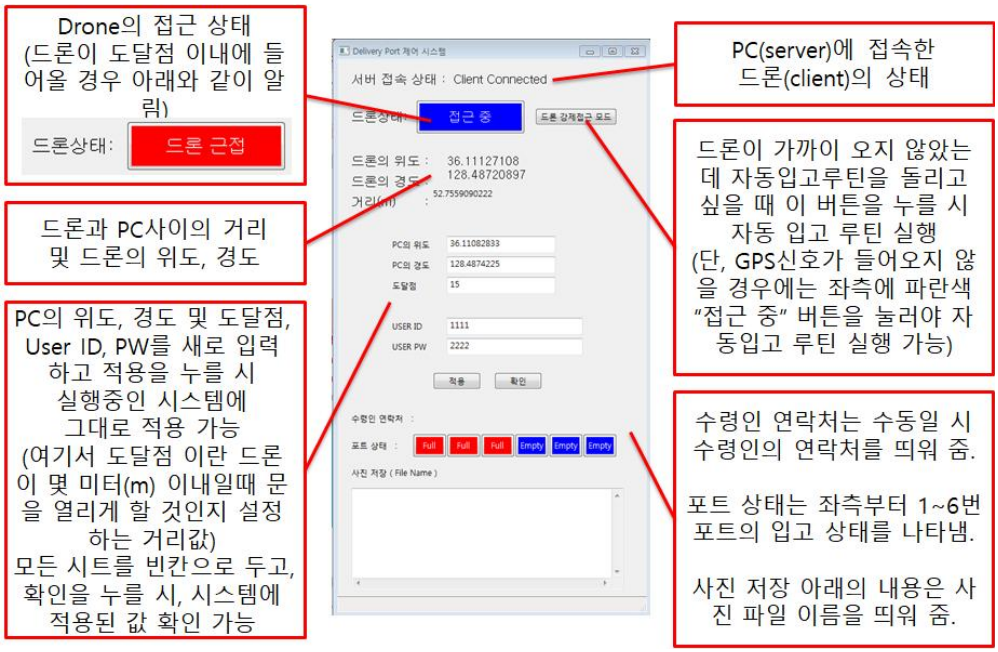


그림 4.10 UAV 기반의 격납고의 입·출고 시스템의 GUI

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 4.11 UAV 기반의 격납고의 입·출고 시스템의 현장 시연 사진

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제5장 결론

UAV 운용 기술이 다양한 분야에서 많은 엔지니어들에게 각광받고 연구 및 개발되고 있다. 그 중에서도 자율비행 시스템은 UAV 운용 기술 중에서 이목이 집중되는 분야이다. UAV의 자율비행은 비행을 위한 각종 센서 데이터와 알고리즘뿐만 아니라 상시 데이터를 송수신 할 수 있는 통신 네트워크를 필요로 한다.

기존 UAV 원격제어에 사용되어오던 RF 통신은 거리제한이 있었다. 이를 보완하기 위해서는 출력을 증폭시켜 통신 범위를 늘리거나 중계기를 활용하여 통신 가능한 네트워크를 넓히는 방법이 있는데 출력을 증폭시키기 위해 증폭기를 설계하거나 새로운 통신망을 구축하기에는 많은 비용이 든다.

따라서 본 연구는 이를 보완하고자 현재 많이 이용되고 있는 저가의 싱글보드컴퓨터를 활용하여 국내 LTE 네트워크 서비스를 기반으로 드론 운용 시스템 구축에 관한 것으로, 또한, 보다 정확한 드론의 위치를 추적하기 위해 RTCM 보정 메시지를 활용하여 글로벌 포지셔닝 시스템(GPS)의 오차를 감소시켰다. 그리고, 상시 드론을 감시할 수 있도록 통신사에서 제공하는 LTE 네트워크를 기반으로 Base station (server)과 Rover (client)간의 통신망을 구축하고 그래픽 유저 인터페이스(GUI)와 데이터베이스(DB)를 포함한 서버를 구성하였다.

본 연구를 통해 UAV 자율비행에 기반이 되는 통신 시스템 및 UAV 운용 플랫폼을 제시하였다. 향후 관련분야의 연구를 지속하여 다양한 플랫폼을 구현하고 관련분야의 기술발전에 이바지하고자 한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고문헌

[1] N. H. Motlagh, M. Bagaa, T. Taleb, "UAV-Based IoT Platform: A Crowd Surveillance Use Case," IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 2, pp. 128-134, 2017.

[2] A. Li, W. Zhang, "Mobile jammer-aided secure UAV communications via trajectory design and power control," IEEE China Communications, vol.15, no.8, pp.141-151, 2018.

[3] A. S. Vempati, M. Kamel, N. Stilinovic, Q. Zhang, D. Reusser, I. Sa, J. Nieto, R. Siegwart, P. Beardsley, "PaintCopter: An Autonomous UAV for Spray Painting on Three-Dimensional Surfaces," IEEE Robotics and Automation Letters, vol.3, no.4, pp.2862-2869, 2018.

[4] H. Duan, Q. Zhang, "Visual Measurement in Simulation Environment for Vision-Based UAV Autonomous Aerial Refueling," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.64, no.9, pp.2468-2480, 2015

[5] Y. A. Nijsure, G. Kaddoum, N.K.Mallat, G. Gagnon, F. Gagnon, "Cognitive Chaotic UWB-MIMO Detect-Avoid Radar for Autonomous UAV Navigation," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol.17, no.11, pp.3121-3131, 2016.

[6] S. Zhang, H. Zhang, B. Di, L. Song, "Cellular UAV-to-X Communications: Design and Optimization for Multi-UAV Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.18, no.2, pp.1349-1359, 2019.

[7] S. Rahman, G. H. Kim. Y. Z. Cho, A. KhanD, "Positioning of UAVs for throughput maximization in software-defined disaster area UAV communication networks," IEEE Journal of Communications and Networks, vol. 20, no. 5, pp. 452-463, 2018.

[8] L. Ruan, J. Wang, J. Chen, Y. Xu, Y. Yang, H. Jiang, "Energy-efficient multi-UAV coverage deployment in UAV networks: A game-theoretic framework," IEEE China Communications, vol.15, no.10, pp.194 - 209, 2018.

[9] Y. Yi, S. Shakkottai, “Hop-by-hop congestion control over a wireless multi-hop network,” IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 15, no. 1, pp. 133-144, 2007.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[10] P.-J. Bristeau, F. Callou, D. Vissière, N. Petit, “The Navigation and Control technology inside the AR.Drone micro UAV,” IFAC Proceedings Volumes, vol. 44, no. 1, pp. 1477-1484. 2011.

[11] J. M. Pflimlin, P. Soueres, T. Hamel, “Hovering flight stabilization in wind gusts for ducted fan UAV,” 43rd IEEE Conference on Decision and Control December 14-17, 2004, Atlantis, Paradise Island, Bahamas.

[12] H. Shakhatreh, A. H. Sawalmeh, A. A. Fuqaha, Z. Dou, E. Almaita, I. Khalil, N. S. Othman, A. Khreishah, M. Guizani, "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challengesm," IEEE Access, vol.7, pp.48572-48634, 2019.

[13] A. Ghosh, R. Ratasuk, B. Mondal, N. Mangalvedhe, T. Thomas, "LTE- advanced: next-generation wireless broadband technology," IEEE Wireless Communications, vol. 17, no. 3, 2010.

[14] RTCM (http://www.rtcm.org/).

[15] Global positioning system (https://www.gps.gov/).

[16] X. Li, N. Aouf, A. Nemra,"3D mapping based VSLAM for UAVs, " 2012 20th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED), 10.1109, 3-6 July 2012.

[17] C. Liu, S. Zhang, A. Akbar, "Ground Feature Oriented Path Planning for Unmanned Aerial Vehicle Mapping," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol.12, no.4, pp.1175-1187, 2019.

[18] S. Malek, Y. Bazi, N. Alajlan, H. AlHichri, F. Melgani, "Efficient Framework for Palm Tree Detection in UAV Images," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol.7, no.12, pp.4692-4703, 2014.

[19] W. Koo, S. Sung, Y. J. Lee, "Error Calibration of Magnetometer Using Nonlinear Integrated Filter Model With Inertial Sensors," IEEE Transactions on Magnetics, vol.45, no.6, pp.2740-2743, 2009.

[20] W. Wang, P. G. Adamczyk, "Comparison of Bingham Filter and Extended Kalman Filter in IMU Attitude Estimation," IEEE Sensors Journal, vol.19, no.19, pp.8845-8854, 2019.

[21] P. E. I. Pounds, A. M. Dollar, "Stability of Helicopters in Compliant Contact Under PD-PID Control," IEEE Transactions on Robotics, vol.30, no.6, pp.1472-1486, 2014.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[22] Y. Mou, Q. Zhang, S. Liu, K. Liang, "The flight control of micro quad-rotor UAV based on PID," 2016 31st Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC), 10.1109, 11-13 Nov. 2016.

[23] D. Zhang, Z. Chen, L. Xi, "Adaptive dual fuzzy PID control method for longitudinal attitude control of tail-sitter UAV," 2016 22nd International Conference on Automation and Computing (ICAC), 10.1109, 7-8 Sept. 2016.

[24] NMEA (https://www.nmea.org).

[25] NMEA GPS data (http://gpsworld.com/what-exactly-is-gps-nmea-data/).

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

연구실적

국제 학술회의 발표 논문

[1] Jiseong Jeong, Chung Ghiu Lee, Inkyu Moo n, Moonsoo Kang, Seokjoo Shin, Soeun Kim, "Receiver angle control in an infrastructure-to-car visible light communication link", 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON), DOI: 10.1109 / TENCON. 2016. 7848364, 2016

[2] Jiseong Jeong, Dongil Jeong, Moonsoo Kang, Chung Ghiu Lee, "IoT-based Sensing Data Transmission for Cathodic Protection", ICNGC2017b, 2017

[3] Jiseong Jeong, Dongil Jeong, Heecheol Ahn, Chung Ghiu Lee, "A GPS-based UAV Access Detection System", ICNGC2018, 2018

참여 과제 및 프로젝트

- 한국전력공사 전력연구원: VRFB 모니터링 시스템 설계 및 구현
- CJ대한통운: UAV 택배 운송 및 입출격납고 간 통신 S/W 설계 및 구현
- 한국수자원공사: 관로를 통한 DC-PLC방식 통신 시스템 설계 및 구현
- 기타 연구 과제 (중소기업청, LINC+ 등):

· 조선대학교 맞춤형 IoT기반 교내서비스용 UAV운용 기반기술 개발 및 서비스 시연
· 태양광 발전 인버터용 다중프로토콜 RTU 개발
· 차량용 SPMS, Converter 회로설계 및 개발
· GPS를 이용한 재난구조신호 스마트기기와 통합 모니터링 시스템 개발
· 열화상 카메라를 이용한 제어대상 추적 GHP 냉난방시스템 개발