

Implementation of Educational UAV with Automatic Navigation Flight

Myeong-Chul Park*, Hwa-ra Hur**

Abstract

This paper proposes a UAV equipped with an automatic control system for educational purposes such as navigation flight or autonomous flight. The proposed UAV is capable of automatic navigation flight and it is possible to control more precisely and delicately than existing UAV which is directly controlled. And it has the advantage that it is possible to fly in a place out of sight. In addition, the user may arbitrarily change the route or route information to use it as an educational purpose for achieving the special purpose. It also allows you to check flight status by shooting a video during flight. For this purpose, it is designed to check the image in real time using 5.8GHz video transmitter and receiver. The flight information is recorded separately and used as data to judge the normal flight after the flight. The result of the paper can be flighted along the coordinates specified using GPS information. Since it can receive real-time video, it is expected to be used for various education purposes such as reconnaissance of polluted area, achievement of special purpose, and so on.

▶ Keyword: Flight simulation, Motion platform, gyro sensor, 6DOF Motor

I. Introduction

근래 무인 비행체는 무인택배, 토지 측량, 공공시설관리, 안전 방재 등의 다양한 영역에 활용되고 있다. 드론과 같은 대표적인 무인 비행체는 대부분 외부에서 조종자가 조종을 통하여 비행을 하는 형태를 하고 있다. 조종장치를 통한 무인기는 한정된 거리에서만 운영되며 영상정보를 통한 원거리 운영에서도 상시 모니터링이라는 제한점을 갖는다. 또한 자율비행체와 같은 알고리즘 학습에서도 본질적인 알고리즘보다 비행체를 제작하는데 많은 시간을 소비하여 교육의 효과성을 저하하는 원인이 된다. 본 논문에서는 자율비행이 가능한 비행체를 제안하고 기본적인 자율비행 알고리즘을 제시하여 학생들이 다양한 용도에 따라 실험환경을 구성할 수 있는 교육용 도구를 제안하고자 한다. 또한 GPS를 통한 위치제어 및 비행자세 안정화를 위한 PID 제어 기법을 부가적으로 제시하고 각종 센서를 통한 비행제어시 발생할 수 있는 다양한 외란적 요소에서도 빠르게 대응할 수 있는 교육용 비행체를 제시한다. 제안하는 비행체는 가속도센서와 자이로 센서를 통해 안정된 비행자세 유지

를 위한 PID 제어, GPS 등의 위치 센서를 사용한 자동제어 기능을 비행체에 탑재하여 기존에 설정된 경로를 따라 자율적으로 비행할 수 있도록 설계하고자 한다. 교육적 효과성과 접근성을 위하여 학생들이 손쉽게 응용할 수 있는 아두이노 Mega 2560 보드를 MCU로 이용하며 5.8GHz 대역의 영상송신기를 통하여 비행 영상을 촬영할 수 있게 설계하였다. 또한 PID제어 및 상보필터 적용, 자이로센서, 가속도센서, GPS등의 다양한 비행 기술 습득을 위한 요소를 추가적으로 포함시켰다. 또한 교육적 용도를 강화하기 위하여 비행 시 실제 비행영상을 제공하여 비행경로의 확인과 비행체의 자세정보를 실시간으로 확인할 수 있게 하였다. 논문의 구성은 2장에서 자동비행체와 관련된 기존 연구와 배경 기술에 대해 살펴보고 3장에서 구현을 위한 구체적인 설계와 구성요소에 대해 기술한다. 4장에서 실제 구현된 무인기와 적용 기법에 대해 상세히 설명하고 5장에서 결과에 대해 기술한다.

*First Author: Myeong-Chul Park, Corresponding Author: Hwa-ra Hur
*Myeong-Chul Park (africa@ikw.ac.kr), Dept. of Avionics Engineering, KyungWoon University
**Hwa-ra Hur (haru@ikw.ac.kr), Dept. of Aeronautical Software Engineering, KyungWoon University
• Received: 2019. 07. 24, Revised: 2019. 08. 19, Accepted: 2019. 08. 19.
• This paper is supported by KyungWoon University.

II. Background

1. Previous research

김성환(2016)은 공용주택환경에 적합한 무인 배송용 드론 연구를 통해 원거리 자동비행과 원격 수동제어가 가능한 기법을 소개하였다[1]. 한동인(2015)은 비행성능평가를 위해 비행 시뮬레이션 프로그램이 X-Plane을 이용한 무인항공기 모의비행 검증 연구를 소개하였다[2]. 그리고 한승희(2014)는 소규모 지역의 공간정보획득을 위한 자동항법 UAV설계를 제안하였고 [3] 정연득(2015)은 아두이노 기반의 비행 안정화를 위한 센서 통합 보드 시스템을 설계하였다[4]. 이승진(2016)은 자동 비행 UAV을 이용한 경로 안내 시스템을 소개하였다[5]. 그리고 정보환(2019)은 아두이노 노드와 GY-86 자이로센서를 이용한 교육용 드론을 소개하였다[6].

2. Complementary Filter

비행 자세정보의 가장 기본적인 정보인 Roll, Pitch, Yaw 값을 구하는 가장 일반적인 방법은 가속도와 자이로 센서를 이용하는 것이다. 하지만, 가속도 센서 출력 값의 경우에는 모든 방향에 대한 움직임의 가속도가 발생하므로 결과 값에 순간적인 잡음이 발생하는 문제점이 있다. 이러한 잡음을 줄이기 위하여 Low pass filter를 이용하여 고주파 성분의 잡음을 줄일 수 있지만 해당 과정에 많은 시간이 소요되는 단점을 가진다. 그리고 자이로 센서는 각속도를 적분하는 방식으로 회전 속도를 측정할 수 있지만 적분을 위한 축적과정에서 실제 구하고자 하는 각도와 차이가 발생하게 된다. 이러한 잡음을 손쉽게 해결하기 위한 방법이 상보필터를 사용하는 것이고 식 (1)과 같다. 상보 필터는 가속도 센서와 자이로 센서를 이용한 추정 각도에 대해 각각 Low pass filter와 High pass filter를 통과시켜 각각의 각도를 더해 기울기를 측정하는 방법이다[7].

$$\angle = 0.98 \times (\angle + gyro \times dt) + 0.02 \times (acc) \quad (1)$$

식 (1)에서 \angle 는 최종 각도를 의미하고 $gyro$ 는 자이로 센서의 추정 값이며 dt 는 적분시간을 의미한다. 그리고 acc 는 가속도 센서의 추정 값이며 상수 값(0.98, 0.02)으로 사용된 값은 자이로 센서와 가속도 센서 추정 값의 상대적인 중요성에 대한 변경 인수를 의미한다. 비행체의 자세는 추정 값에 따라 매순간 변화하므로 자이로 값이 가속도 값보다 더 중요하다고 볼 수 있다.

3. PID controller

PID 제어는 비행체 개발에 중요하게 적용되는 원리이다 [8-9]. 위의 상보필터를 이용하여 비행 자세 정보인 Roll, Pitch, Yaw를 구했다면, 모터의 속도를 제어하기 위한 원리가 PID 제어이다. PID 제어기는 각 모터 제어를 위한 출력 값과 이미 설정된 값을 비교하여 오차를 계산한 후, 오차 값을 해당

모터에 필요한 제어 값을 계산하는 구조를 가진다. 본 논문에서는 이중루프가 아닌 표준적인 PID제어기를 적용하였고, 식 (2)과 같이 세 개의 항을 더하여 제어 값을 계산하도록 구성된다.

$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

이 항들은 각각 비례항, 적분항, 미분항으로 구성되는데 비례항은 오차 값으로 해당 크기에 비례한 제어 작용을 한다. 그리고 적분항은 오차 값의 적분으로 일정한 상태로 유지되는 오차를 없애는 역할을 한다. 마지막으로 미분항은 오차 값의 미분으로 출력 값의 급격한 변화에 따른 특이 값을 줄이고 안정성을 향상시킨다. PID 제어기는 식 (2)과 같은 표준식의 형태로 사용하기도 하지만, 경우에 따라 비례항만을 가지거나(P 제어기), 비례-적분(PI 제어기), 비례-미분(PD 제어기)항만을 가진 제어기의 형태로 사용하기도 한다. 그리고 계산된 제어 값이 실제 장치가 작동할 수 있는 최대값보다 커서 장치의 포화가 발생하게 되는 경우(서보모터의 경우 180도), 오차의 적분 값이 계속적으로 누적되어 출력 값이 설정 값에 가까워지는 경우, 제어 값이 설정 값에 도달하기 위해 작아져야 하는데 계속 증가하는 등으로 계산에 오랜 시간이 소요되는 이상 경우가 발생하는데 이를 방지하기 위해서는 적절한 안티 와인드업(Anti-windup) 기법을 이용하여 식을 보완해야 한다[10].

식 (2)에서 제어 인수 K_p, K_i, K_d 를 이득 혹은 게인(gain)이라고 하는데 이는 수학적이거나 다양한 실험을 통하여 취득되어야 한다. PID 제어기에서 이득 값을 위한 여러 방법들이 있는데, 그중 가장 널리 알려진 것으로는 Fig. 1과 같이 지글러-니콜스 방법이 있다.

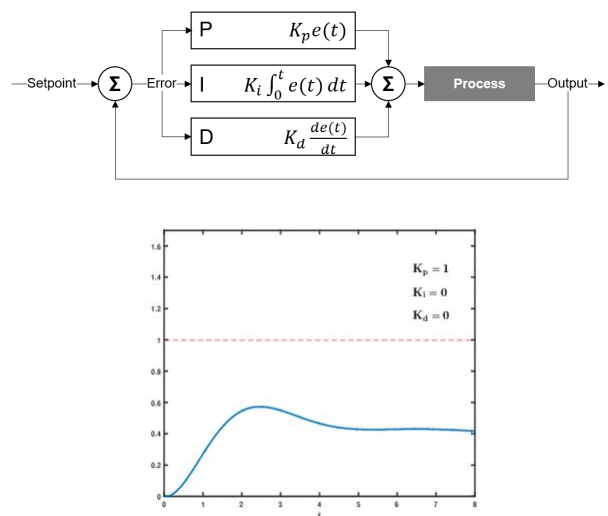


Fig. 1. The general structure of the PID controller (above), the output value MV(t) for each parameter (below)

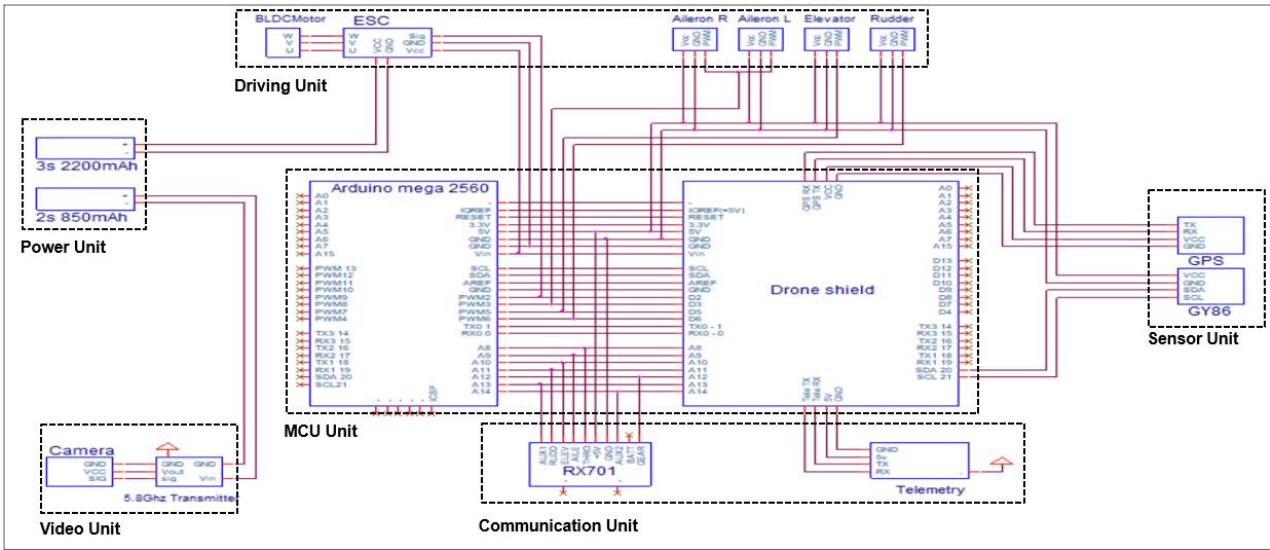


Fig. 2. Circuit Design of Implemented UAV

III. Design

1. Circuit Design of UAV

Fig. 2는 제안하는 무인기에 대한 전체 회로도이다. MCU 장치에 해당하는 영역은 아두이노 메가 보드와 드론 쉴드 보드로 구성되며 제어를 위한 아두이노 메가 보드 상단에는 모터와 변속장치가 연결된 구동 장치가 위치하고 GPS 및 자이로센서를 연결한 센서부가 오른쪽에 연결된 것을 확인 할 수 있다. 그리고 하단 영역에는 송수신 신호 전달을 위한 통신부와 오른쪽 영역에는 전원장치와 영상장치를 연결하였다. 구성요소간 잡음을 줄이기 위하여 별도의 드론 쉴드를 부착하였으며 GPS와 통신을 위하여 통신부와 RS-232 방식으로 연결하였다. 구동부의 각 서보모터는 MCU 장치와 I2C 방식으로 연결되며 조종면 제어를 위하여 PWM 신호를 전달받게 된다. 전원부는 2가지의 배터리를 사용하는데 3S 11.1V 배터리는 메인부에 전원을 공급하여 메인부에서 각각 5V 전원을 분배 해준다. 2S 7.4V의 배터리는 영상부 송신기에 전원을 공급한다. 조종부는 RC조종기와 노트북으로 구성되어 있다. RC조종기는 송수신부를 거쳐 조종값을 입력받아 MCU 장치의 프로그램에 따라 구동부를 제어할 수 있으며, 제어 장치(노트북)로 자동항법비행 미션을 업로드하고 제어할 수 있다. 송수신부는 조종부와 MCU가 무선통신으로 데이터정보를 주고받을 수 있도록 한다. 구동부는 에일러론, 엘리베이터, 러더를 구동하는 서보모터와 변속기, BLDC 모터로 구성되어 있으며 메인부에서 오는 신호를 받아 기계적인 구동을 한다. 조종부의 제어 장치에서 프로그램을 사용하여 자율비행경로를 지정해주고 오차범위와 고도 등 제어 값을 입력한 뒤 원하는 미션을 업로드 시켜 시야가 닿지 않는 곳의 상공에서도 자동항법비행이 가능하며 비행기의 시점에서 촬영되고 있는 실시간 영상 확인이 가능하다. 제안하는 UAV의 핵심 제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of implemented UAV

Part	Item	Specifications
Main	MCU Sensor Control	Arduino Mega2560 Arduino DroneShield
Sensor	Earth Magnetic Field Gyro GPS Barometer	HMC5883L MPU-6050 9600bps MS5611
Communication	RC Receiver Telemetry	RX701 915MHz Telemetry
Driving	Servo Motor BLDC Motor Electric Speed Control	SG-90 2212/5T 2450kv LB 20A OPTO
Video	Video transceiver Camera	5.8Ghz 40ch FPV camera
Power	Battery (lithium polymer)	3s 2200mAh(11.1V) 2s 850mAh(7.4V)

2. Component of UAV

MCU는 아두이노 메가2560[11]과 Drone Shield로 구성되어 있고 두 부품 모두 7~12V 사이의 전압으로 작동된다. 송수신부, 구동부, 센서부가 부착되는 부분으로 센서에서 받는 데이터를 이용하여 스스로 균형을 잡거나 경로를 계산하여 원하는 진행방향으로 비행하기 위해 구동부를 제어하고 수집한 정보들을 송·수신부를 통하여 조종부에 전송하고, 또한 조종부에서 보내는 신호를 수신하여 구동부를 제어하는 방식으로 자동항법비행을 수행한다. 전원부로 2가지의 리튬폴리머 배터리를 사용한다. 3S 2200mAh(11.1V) 와 2S 850mAh(7.4V)를 사용하는데 3S 2200mAh는 변속기로 공급되어 변속기에서 5V로 낮춘 후 메인부로 공급한다. 메인부에서 다시 영상부를 제외한 모든 부분에 5V의 전원을 공급하며, 2S 850mAh는 영상부의 영상 송신기에 전원을 공급한다. 영상부로 비행기 시점에서의 영상정보를 수집할 FPV카메라를 사용하고 5.8GHz 대역의 영상송신기를 이용하여 노트북에 장착된 영상송신기로 획득정보를 전송

한다. 송수신부로 RX701과 Telemetry로 구성되어있다. RX701은 5V의 전압으로 작동하며 조종부의 RC조종기에서 보내는 신호를 받아 그 신호값을 Aileron, Elevator, Throttle, Rudder, Gear, Aux1, Aux2의 핀을 통해 메인부에 PWM신호를 입력한다. Telemetry는 915MHz대역의 RS-232 Serial통신방식으로 메인부와 연결되며 5V의 전압으로 작동하며 비행체에서 얻는 모든 데이터를 노트북으로 전송함과 동시에 노트북에서 비행체로 미션을 수신 하는 역할을 한다. 센서부로 GPS와 GY86으로 구성되어 있다. GY86은 MPU-6050(3축가속도 + 3축자이로센서), HMC5883L(3축 지자계센서), MS5611(기압센서)로 구성된 모듈이다[12]. 동작전압은 5V이며 비행체의 자세정보와 Heading 방향의 Raw데이터를 I2C통신으로 메인부에 전송한다. GPS또한 동작전압은 5V이며 메인부와 RS-232 Serial통신을 하며, 자동항법을 가능하게 하는 가장 핵심적인 부품으로 GPRMC와 GLL를 파싱하여 위도, 경도, 속도, Heading방향, 해면고도 등의 데이터를 얻는데 사용한다. 구동부로 BLDC Motor와 변속기(ESC) 그리고 조종면을 움직일 Servo Motor로 구성되어있다. 변속기는 11.1V의 전원을 인가받아서 모터를 구동할 수 있는 정격전압으로 바꾸고, 메인부에서 보내는 PWM신호를 받아 그에 맞게 BLDC모터를 구동한다. Servo Motor는 5V의 전압으로 구동되며 비행체의 Aileron, Elevator, Rudder의 조종면을 제어하여 무인기가 진행하고자 하는 방향으로 비행할 수 있도록 자세를 제어하는데 사용한다.

하여 자세를 잡는다. 또한 GPS에서 얻는 위도, 경도, 방위각, 속도 등으로 현재의 위치와 비행 경로점(Way Point)을 비교하여 결과에 따라 비행경로를 결정한다. 비행중의 카메라 영상정보와 모든 데이터들은 텔레메트리를 통하여 지상의 노트북에 저장된다.

IV. Implementation

1. Flow Chart of UAV

메인부에서는 센서의 데이터들을 받아서 상보필터등으로 비행체의 자세를 계산하고, PID제어계, 자동항법시스템을 통한 경로를 계산한다. 또한 RX701의 수신값을 인터럽트로 입력받아 조종면을 구동한다. 송·수신부의 Telemetry는 지상과 무인기에 대한 정보를 양방향으로 주고받으며 RS-232 Serial통신으로 연결하고, RX701은 RC조종기에서 PPM(Pulse Position Modulation)신호로 송신하는 값을 받아서 메인부에 PWM(Pulse Width Modulation)신호로 입력한다. 센서부의 GPS는 RS-232 Serial통신으로 현재 무인기의 위도, 경도, 속도, 방위각 등의 정보를 메인부로 보내고, GY86은 가속도·자이로센서, 기압센서, 지자계센서의 데이터를 I2C 통신으로 메인부와 보내준다. 구동부는 BLDC모터와 조종면을 제어하기 위한 서보모터가 있으며 PWM신호로 제어한다. 본 연구에서는 스스로 자세를 잡는 PID제어기, GPS센서를 이용한 자동제어시스템을 비행체에 탑재하여 경로를 설정하여 스스로 경로를 따라 비행할 수 있는 무인기를 구현하였다. 비행체에 부착되어 있는 가속도·자이로센서, 기압센서에서 얻은 데이터를 바탕으로 비행기의 자세정보를 계산하고, PID제어기를 통하여 조종면을 제어

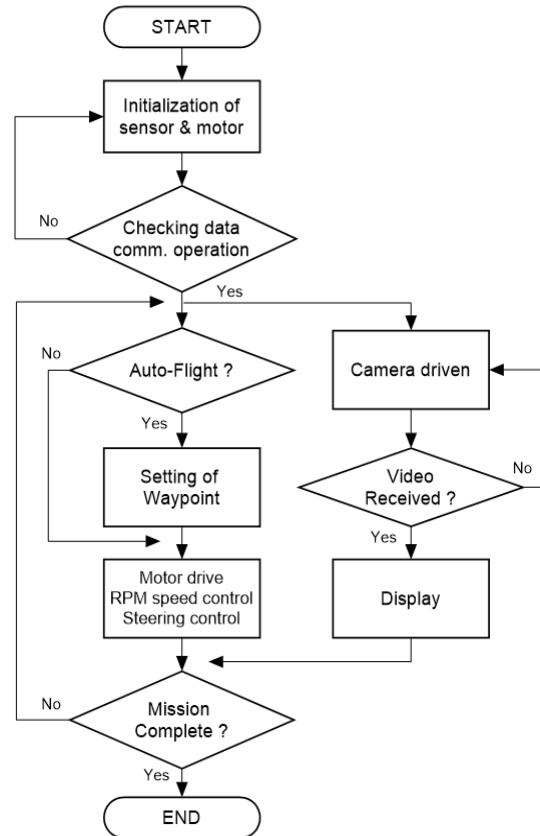


Fig. 3. Flow Chart of UAV

Fig. 3은 구현된 UAV의 전체적인 동작 알고리즘을 보인 것이다. 장치에 전원이 인가되면 자이로 및 각종 센서를 초기화하고 비행체와 제어 시스템간의 데이터 송수신을 체크하고 각 센서의 정상 동작여부를 확인한다. 비정상적인 센서 및 모터의 경우, 해당 요소의 초기화 루틴으로 되돌아간다. 모든 센서와 요소가 정상 작동하는 경우에는 수동 조종장치를 통하여 자동항법시행 기능의 사용 유무를 설정한다. 자동항법비행 기능을 사용하게 되면 제어 시스템에서 자동제어 프로그램을 통해 자율 비행 경로(WayPoint)을 지정하고 비행체는 경로에 적합한 모터의 속도 제어와 조종면 제어 등으로 자동항법비행을 실시하게 된다. 비행 중 상공 장애물이나 긴급 상황 발생 시 즉시 수동 동작이 가능하며 이는 실시간 영상을 통하여 확인할 수 있다. 영상 송수신은 센서와 모터 초기화 영역에서 5.8GHz 대역의 영상 송수신기가 동시에 초기화 된다. 비행 중에도 카메라 동작 상태를 지속적으로 체크하며 영상 수신이 되지 않으면 주기적으로 카메라 장치를 초기화한다. 정상적인 동작 시에는 주기적으로 제어 시스템에 영상을 전송하여 확인할 수 있다.

2. Automatic Flight system

본 UAV의 자동항법시스템은 Fig. 4와 같이 항로를 따라 비행하기 위하여 경로사이의 가상의 좌표를 설정하여 다음 경로를 위한 거리 및 방향각을 계산하여 이동하는 대권항법을 기반으로 하였다. 현재 좌표와 경유지 혹은 목적지까지의 벡터 값을 계산하고 경로 상에 임의의 좌표를 설정하여 그 좌표를 향해 경로를 설정하고, 통과하며 비행한다.

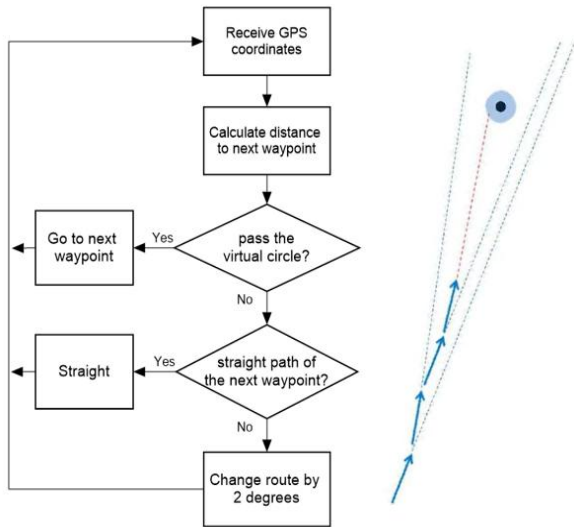


Fig. 4. Flow Chart of Waypoint Searching

GPS수신기에서 현재 GPS위치를 읽고 라디안 각으로 변환한다. 이후 다음 좌표와 관련된 무인 정찰기의 위치를 확인하기 위해 현재 점과 다음 목적지 사이의 거리를 계산한다. 무인기가 Waypoint의 근접 원을 통과하면 다음 지점으로 이동한다. 근접 원을 통과하지 않고 무인기가 다음 지점으로 향하는 방향에 있다면 다음 지점으로 가고 그렇지 않으면 2도만큼 항로를 변경한다. 이때 언급된 Waypoint의 근접 원은 반지름이 할당된 대상 주위의 가상 원으로 오차범위라고 표현할 수 있다. 이 가상 원이 필요한 이유는 무인기가 Waypoint를 정확하게 지나가지 않기 때문이다. 이 알고리즘은 무인기가 가상의 원을 지났을 때 목표를 충족한다고 간주하고 비행하는 것을 계속한다. 이렇게 비행을 하게 된다면 비행기가 그리는 항적은 Fig. 4의 오른쪽에 보이는 그림과 같이 지그재그를 반복하며 경유지를 통과하게 된다.

3. Implementation of PID Controller

자세 제어를 PID 제어는 Roll, Pitch, Yaw 가 동일한 동작 구조를 가진다. Fig. 5는 PID 제어를 위한 함수를 보인 것이다. 먼저, 목표 각도 값에서 현재 각도 값의 차이로 현재 각도 오차를 구한다. 그리고 안정화 비례매개변수($stabilize_kp$)에 현재 각도 오차를 곱해서 안정화 비례항($stabilize_pterm$) 값을 구한다. 안정화 적분매개변수($stabilize_ki$)에 현재 각도 오차와 센서 입력 주기 값을 곱하여 누적된 안정화 적분항($stabilize_item$) 값을 구한다. 목표 각속도를 안정화 비례항 값으로 설정하고 목표 각속도 값에서 현재 입력 각속도 값을 빼서 현재 각속도 오차를 구한다. 각속도 비례매개

변수에 현재 각속도 오차를 곱해서 각속도 비례항 값을 구하고 각속도 적분매개변수에 현재 각속도 오차와 센서 입력 주기 값을 곱해 누적해 각속도 적분항 값을 구한다. 마지막으로 각속도 비례항, 각속도 적분항, 안정화 적분항을 더해 출력 값을 구한다.

```
void dualPID(
    float target_angle, float angle_in,
    float rate_in, float stabilize_kp,
    float stabilize_ki, float rate_kp,
    float rate_ki, float& stabilize_itepm,
    float& rate_itepm, float& output) {
    float angle_error, desired_rate, rate_error;
    float stabilize_pterm, rate_pterm;

    angle_error = target_angle - angle_in;
    stabilize_pterm = stabilize_kp * angle_error;
    stabilize_itepm += stabilize_ki * angle_error * dt;
    desired_rate = stabilize_pterm;
    rate_error = desired_rate - rate_in;
    rate_pterm = rate_kp * rate_error;
    rate_itepm += rate_ki * rate_error * dt;
    output = rate_pterm + rate_itepm + stabilize_itepm;
}
```

Fig. 5. Function of PID Controller

실제 구현된 UAV는 Fig. 6과 같다. 동체의 헤드 전방에 대부분의 구성요소를 배치하고 수평도를 위하여 프로펠러가 장착된 모터 영역과 꼬리 부분에 별도의 무게 추를 추가하였다.

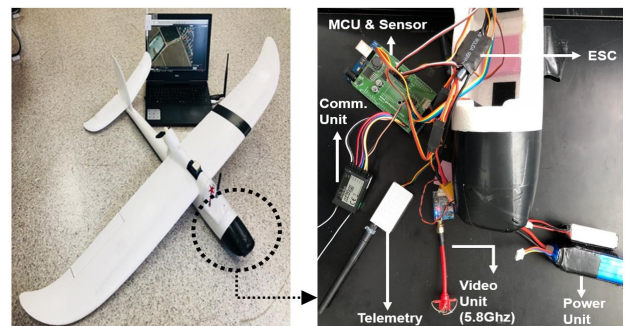


Fig. 6. Educational UAV with Automatic Navigation Flight

V. Conclusions

Fig. 7은 실제 구현된 UAV의 자동비행 동작을 보인 것으로 (a)는 텔레메트릭을 통한 경로 및 고도 설정화면을 보인 것이다.

(b)~(c)는 수동 이륙을 위한 동작이며 (d)~(j)는 각 Waypoint를 통과하는 비행모습을 보인 것이다. 그리고 (k)~(l)는 미션을 종료하고 착륙하는 모습을 보인 것이다. 본 논문은 비행체가 자동항법 비행으로 사용자가 지정한 자율비행 지점을 통과 하고, 비행체의 영상을 실시간으로 노트북을 통하여 확인할 수 있도록 교육용으로 고안되었다. 먼저 비행효율을 고려하여 드론의 형태보다는 고정익 비행기의 형태로 제작을 하였고, 비행체의 영상을 실시간으로 확인하기 위해 비행체의 배면에 소형 FPV카메라를 장착하였다. 자동제어를 위한 경로탐색 테스트에서는 Table 2와 같은 결과를 보였다. 직선 경로 시험에서는 정확한 결과를 보였지만, 곡선 경로와 복합경로에서는 오차를 보여 90.0%, 86.7%의 경로탐색 결과를 보였다. 그리고 다중 경로와 단절 경로에서는 85.0%, 83.3%의 정확도를 보여 향후, 다양한 Waypoint에 대한 정밀한 탐색이 요구되며 영상은 원거리 정도에 따라 영상 노이즈가 발생하는 문제점도 해결할 과제이며 목표치 80%대비 요소별 성능이 만족하였음을 보였다. 본 연구의 결과물은 학생들의 교육적 용도 외에도 무인 비행체를 활용할 수 있는 다양한 영역에 적용 가능할 것으로 사료된다. 향후, 결과물은 자동비행을 통한 토지측량, 군용정찰 등 다양한 용도 및 이착륙 자율성, 수직이착륙등의 과제를 통해 교육적 용도로 활용할 예정이다.

Table 2. Result of operation experiment

WayPoint Path	Number	Hit	Rate
Test1 (Linear)	5	5	100.0%
Test2 (Curve)	10	9	90.0%
Test3 (Linear & Curve)	15	13	86.7%
Test4 (Multi Path)	20	17	85.0%
Test5 (Truncation Path)	30	25	83.3%

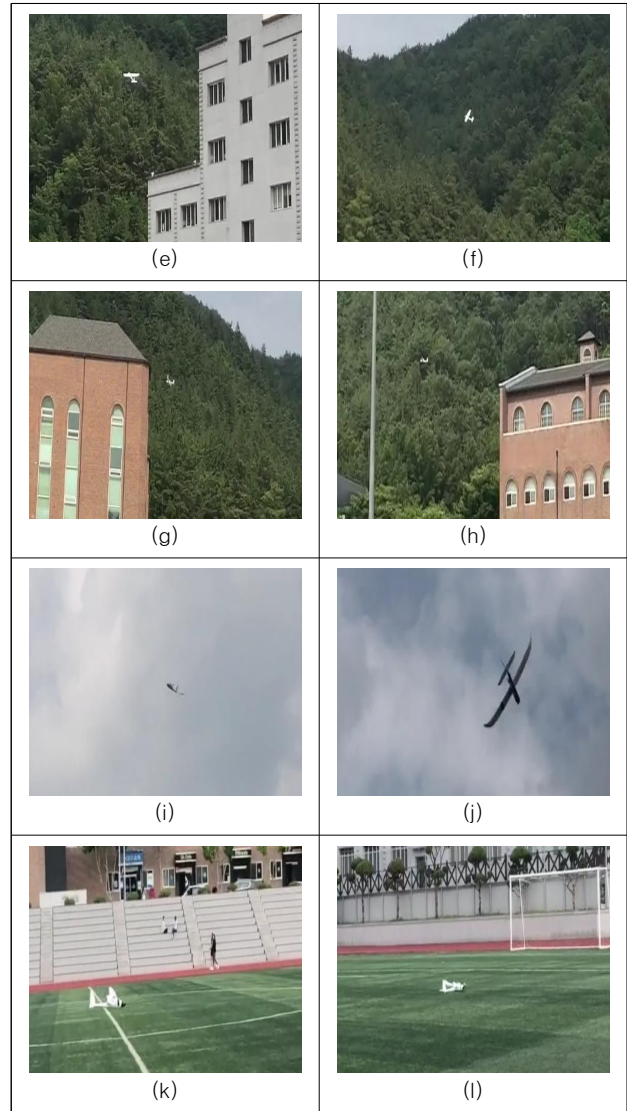
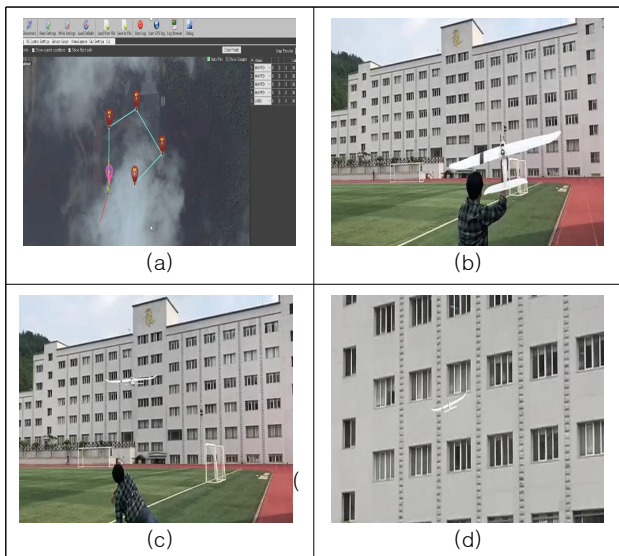


Fig. 7. Experimental Behavior of Implemented UAV



REFERENCES

[1] Kim, S. H., Lee, D. K., Cheon, J. H., Kim, S. J., Kee-Ho Y., "Design and Flight Tests of a Drone for Delivery Service," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol.22, No. 3, pp. 204-209, 2016.

[2] Han, D. I., Kim, Y. S., Lee, C. Y., Lee, D. W., Cho, K. R., "A Study on Verify of UAV Flight Control Software Simulated Flight using Model-Based Development and X-Plane simulator," Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 43, No. 2, pp. 166-171, 2015.

[3] Han, S. H., "Design Proposal for Economical Autopiloted

- UAVs for Acquiring Geospatial Information(II),” Conference of Korea Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography, pp. 183-186, 2014.
- [4] Jung, Y. D., Jung, S. G., Yoo, H., “Low-cost Sensor Integration Board System Design using an Arduino Board for Indoor Flight Stabilization,” 2015 KSAS Fall Conference, pp. 1535-1538, 2015.
- [5] Lee, S. J., Lee, S. N., Koo, Y. K., Lee, H. J., “Design and Implementation of Path Guidance System using Autonomous Flight UAV,” 2016 KIISE Conference, pp. 246-248, 2016.
- [6] Jung, B. H., “Implementation of Educational Drone using Arduino Uno and GY-86,” Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 56, No. 1, pp. 115-120, 2019.
- [7] Park, M. C. and Choi, D. K., “Implementation of Flight Simulator using 6DOF Motion Platform,” Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 23 No. 8, pp. 17-23, 2018.
- [8] Jeon, D. S. and Lee, S. R., “Double-Loop PID Controller for Quadcopter Attitude Stabilization,” The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 44, No. 4, pp. 748-754, 2019.
- [9] Cho, Y. W., “A Triple Nested PID Controller based on Sensor Fusion for Quadrotor Attitude Stabilization,” The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 67, No. 7, pp. 871-877, 2018.
- [10] Choon Lih Hoo, Sallehuddin Mohamed Haris, Edwin Chin Yau Chung, Nik Abdullah Nik Mohamed. “Steady-State Integral Proportional Integral Controller for PI Motor Speed Controllers,” Journal of Power Electronics, Vol. 15, No. 1, pp. 177-189, 2015.
- [11] Arduino MEGA2560, <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoMega2560>
- [12] MPU-6050, <https://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/>

Authors



Myeong-Chul Park received a B.S. degree in Computer Science from Korea National Open University in 1999, a M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science from GyeongSang National University in 2002, 2007. He is currently a Professor in the

Department of Avionics Engineering, KyungWoon University. He is interested in Visualization, Simulation, Education of Software, Virtual Reality, and Parallel Programming.



Hwa-ra Hur received a M.S. degree in Computer Engineering from Dong-a Univeristy in 1992, a Ph.D. degrees in Electronic Engineering from Pusan National Univeristy in 2001. He is currently a Professor in the Department

of Aeronautical Software Engineering, KyungWoon University. He is interested in Time-Dealy, Model predictive control, Remote control robot.