

PID 제어 UAV를 이용한 발화 감지 시스템의 구현

최정욱* · 김보성* · 유제민* · 최지훈* · 이승대**

PID Controlled UAV Monitoring System for Fire-Event Detection

Jeong-Wook Choi* · Bo-Seong Kim* · Je-Min Yu* · Ji-Hoon Choi* · Seung-Dae Lee**

요 약

사람의 손길이 닿지 않는 곳에 위험 상황이 발생하였다면 무인 비행체를 활용하여 그 상황의 규모와 위치를 파악하여 더 큰 피해를 줄일 수 있다. 이러한 점에서 착안하여 본 논문에서는 무인 비행체가 원활한 호버링을 수행할 수 있도록 Beta Flight를 사용하여 Roll, Pitch, Yaw의 최솟값과 최댓값을 설정한 후 센서의 작동을 감지하여 기체의 기울기의 변화에 따라 센서의 PID 값을 설정하여 수평이 유지될 수 있도록 오차를 최소화하여 안전한 호버링을 할 수 있도록 하였다. 또한, 카메라는 Open CV를 활용하여 라즈베리파이 프로그램을 설치한 후 HSV 색상표를 활용하여 화원과 가장 가까운 색인 붉은색을 제외한 나머지 부분을 흑백 처리하는 필터링을 씌워 공중에서 감지한 영상을 실시간으로 수신할 수 있도록 하였다. 최종적으로 0.5~5m 높이에서 호버링이 가능하였으며 5m 높이에서 반지름이 5cm 인 붉은색 원을 인식할 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

If a dangerous situation arises in a place where out of reach from the human, UAVs can be used to determine the size and location of the situation to reduce the further damage. With this in mind, this paper sets the minimum value of the roll, pitch, and yaw using beta flight to detect the UAV's smooth hovering, integration, and derivative (PID) values to ensure that the UAV stays horizontal, minimizing errors for safe hovering, and the camera uses Open CV to install the Raspberry Pi program and then HSV (color, saturation, Brightness) using the color palette, the filter is black and white except for the red color, which is the closest to the fire we want, so that the UAV detects the image in the air in real time. Finally, it was confirmed that hovering was possible at a height of 0.5 to 5m, and red color recognition was possible at a distance of 5cm and at a distance of 5m.

키워드

Fire-Event Detection, Hovering, HSV Extraction, PID Control, Raspberry-Pi, UAV
화재 감지, 호버링, HSV 추출, PID 제어, 라즈베리파이, 무인 비행체

* 남서울대학교 전자공학과 (cjwoogy@naver.com, wolf246@naver.com, dbwpals016@naver.com, cjh32619@naver.com)

** 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과

• 접수일 : 2019. 10. 29
• 수정완료일 : 2019. 12. 22
• 게재확정일 : 2020. 02. 15

• Received : Oct. 29, 2019, Revised : Dec. 22, 2019, Accepted : Feb. 15, 2020

• Corresponding Author : Seung-Dae Lee
Dept. of Electronic Engineering, Namseoul University,
Email : seungdae@nsu.ac.kr

1. 서 론

재난이나 사고가 발생하였을 때 그 주변에 화재와 같은 사고가 발생하게 되면 신속한 인명 구조와 불길이 퍼져나가는 방향을 확인하는 것이 필요하다. 그러나 화재 현장에 사람이 직접 투입되는 것은 제 2차 피해가 발생할 우려가 크다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 화재 현장에 무인 비행체를 띄워 피해 규모와 불꽃의 위치를 감지하는 것은 물론 사람이 접근하기 힘든 지역이나 공간에서도 무인 비행체를 활용하여 문제를 해결할 수 있으며 유지비 또한 크지 않다는 점도 장점이다.

무인 비행체가 활용될 수 있는 재난 현장은 창고, 주택 산불 등 실내의 구분 없이 사용된다. 그 중 화재 통계는 매년 많은 건수와 인명피해를 발생시키며 또한 재산피해 까지 상당하다. 이러한 상황에서 무인 비행체에 카메라 영상 기술을 도입하여 불꽃의 위치를 찾고 피해 범위를 실시간 영상으로 확인하여 2차 피해확산을 방지할 수 있다[1-2].

본 논문에서는 무인 비행체의 FC를 통하여 자이로 및 가속도 센서를 사용하여 비행시 기울어짐을 확인하고, Roll, Pitch, Yaw 값을 설정하여 원하는 방향으로 조종할 수 있도록 프로그래밍 한다. 그리고 무인 비행체에 라즈베리 카메라를 장착하여 HSV 색상표를 사용하여 화재감지 필터링을 씌운 후 우리가 원하는 붉은색 색상을 Open CV를 통하여 영상으로 실시간 통신하는 것을 목표로 한다.

II. 무인 비행체 동작 및 구성

2.1 무인 비행체 비행 원리

무인 비행체란 4를 의미하는 쿼드와 헬리콥터의 합성어로 4개의 프로펠러가 양력을 발생시켜 비행하는 무인 비행체이다.



(a) Flight principle (b) Ascent principle

그림 1. 무인 비행체의 동작 원리
Fig. 1 Operating principle of UAV

그림 1(a)는 무인 비행체의 비행 원리에 대해 설명한 그림이다 이때 무인 비행체의 각각 날개는 서로 시계 방향(CW), 반시계 방향(CCW)으로 회전하여 회전력을 상쇄시켜 기체가 안정감 있게 떠오를 수 있게 한다. 그림 1(b)는 무인 비행체의 상승 원리에 대한 그림으로 이때 무인 비행체를 4개의 모터 회전속도를 올려주면 기체는 더 높게 상승한다. 이때는 Mode 2의 경우 조종기의 왼쪽 스틱을 위로 올려주면 된다.

무인 비행체의 조종을 위해선 피치(Pitch), 롤(Roll), 요(Yaw)의 제어가 가능해야 한다.



(a) pitch (b) Roll (c) Yaw

그림 2. 무인 비행체의 주행 원리
Fig. 2 Driving principle of UAV

그림 2(a)는 피치의 원리를 나타낸 그림이다. 피치는 무인 비행체가 앞뒤로 주행하는 것으로 진행 방향 기준으로 앞쪽 프로펠러 2개와 뒤쪽 프로펠러 2개의 속도를 제어해주면 된다. 예를 들어 앞쪽 2개의 프로펠러의 속도가 낮아지면 무인 비행체는 전진하게 된다. Mode 2의 경우 오른쪽 스틱을 위로 올려준다. 그림 2(b)는 무인 비행체의 롤의 원리를 나타낸 그림이다. 롤은 진행 방향 기준으로 무인 비행체가 좌우로 움직이는 것으로 좌측 프로펠러 2개와 우측 프로펠러 2개의 속도를 제어 해주면 된다. 예를 들어 좌측 프로펠러 2개의 속도가 낮아지면 무인 비행체는 좌측으로 움직인다. Mode 2의 경우 오른쪽 스틱을 좌측으로 움직인다. 그림 2(c)는 무인 비행체의 요의 원리를 나타낸 그림이다. 요는 무인 비행체가 제자리에서 회전하는 것으로 대각선에 있는 프로펠러의 속도를 제어하여 기체를 회전시킨다. 예를 들어 시계 방향으로 회전하는 모터의 속도를 증가시키면 기체는 그 반대 방향인 반시계방향으로 회전한다. Mode 2의 경우 왼쪽 스틱을 왼쪽으로 작동시키게 된다[3-5].

2.2 PID 제어

PID 제어는 비례(Proportional), 적분(Integral), 미분(Derivation) 제어를 의미하며 무인 비행체에 자세를 제어하는데 사용된다. PID 제어는 기본적으로 피드백 제어기의 형태를 가지고 있으며, 출력값을 설정값과 비교하여 오차를 비교하고 제어에 필요한 제어값으로 계산하는 구조로 되어 있다.

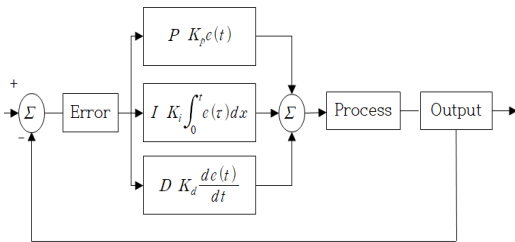


그림 3. PID제어 시스템의 블록선도
Fig. 3 Block diagram of the PID control system

그림 3은 PID 제어기의 블록선도이다. P는 비례 제어로 PID 제어의 가장 기본적인 제어이며 구현이 쉽다. I는 적분 제어로 정상상태 오차를 제거해 준다. D는 미분 제어로 기울기 변화를 잡아주는 역할을 한다. PID 제어는 3개의 항을 더하여 제어값을 계산하며 이는 식 (1)에 보인 바와 같다[6].

$$mv(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt} \quad (1)$$

K_p 는 비례계수, K_i 는 적분 계수, K_d 는 미분계수이며, K_p 는 오차에 따라 출력을 바꿔주며 매 개변수를 변경함에 따라 변화에 크게 작게 반응할 수 있다. K_i 는 시간에 걸친 오차의 합으로 적분항에 의해 시간이 지날수록 오차의 합이 쌓여 출력은 빠르게 변해 오차를 잡아준다. K_d 는 오차의 변화율을 계산하고 그 결과를 출력에 더해준다[7-8].

2.3 화재 감지 시스템 구성

무인 비행체가 동작하기 위해 가져야할 가장 보편적인 구성과 부품 사이의 신호 전달 방법이

있다. 그림 4는 화재 감지의 가장 기본적인 시스템 구성도이다.

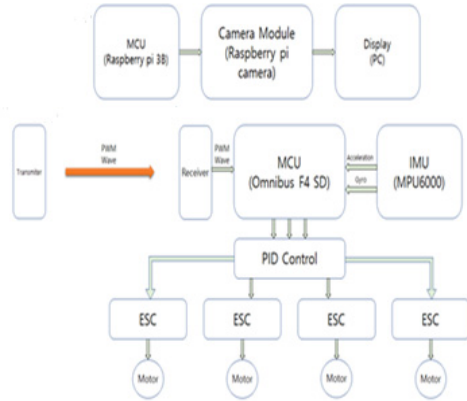


그림 4. 화재 감지 시스템 블록도
Fig. 4 Block diagram of fire detection system

III. 영상 추출

3.1 색 추출

불꽃과 최대한 비슷한 H, S, V 값을 추출하기 위하여 화염 탐지 지수와 산림 화재 탐지 지수를 이용하여 라즈베리 카메라가 화염의 색을 추출할 수 있도록 해준다. H는 가시광선 스펙트럼을 고리모양으로 배치한 색상환에서 가장 긴 빨강을 0°로 하였을 때 상대적인 배치 각도를 의미한다. H의 값은 0° ~ 360°의 범위를 갖고 360°와 0°는 같은 색상 빨강을 가리킨다. S는 특정한 색상의 가장 진한 상태를 100으로 하였을 때 진함의 정도를 나타내며 0은 같은 명도의 무채색을 나타낸다. V는 흰색, 빨간색 등을 100 점은 색을 0으로 하였을 때 밝은 정도를 나타낸다[9].

3.2 색상 인식

가장 기본적인 색상 모델인 RGB를 이용하여 검은색은 R=G=B=255, 흰색은 R=G=B=0 RGB는 각각 최소 0에서 255 사이의 색상 값을 가질 수 있다. 두 색의 색상차이를 알기 위해서는 RGB의 경우 두 개의 RGB 색상 값을 서로 각각 상쇄시킨 값의 제공한 값을 더해주어 두 색상이 얼마나 다른 색인지 비교할

수 있다. HSV 모델의 경우 여러 가지 방법으로 색상을 구별할 수 있다. 우리가 실험에서 사용한 방법은 가장 간단한 방법으로 색조(H)만을 비교하여 두 색상의 차이 $D = h1-h2$ 로 두 개의 색상차이를 정량적으로 표현할 수 있다[10-13].

IV. 실험 및 고찰

4.1 무인 비행체 실험

베타 플라이트를 사용하여 무인 비행체의 안정된 호버링을 위하여 각각 롤, 피치, 요 값에 대한 조종기 스틱 최소값과 최대값을 설정하였다.

표 1. 롤, 피치, 요 범위 값
Table 1. Range value of Roll, Pitch and Yaw

	Row	High
Roll	981	2039
Pitch	981	2036
Yaw	981	2031

표 1은 1500을 기준으로 롤 수치가 1500이하이면 기체가 좌측으로 움직이고 피치가 1500이하 일 때는 무인 비행체가 후진하며 요가 1500이하 일 때 무인 비행체가 반시계 방향으로 회전한다. 반대로 1500이상인 롤의 경우는 기체가 우측으로 이동하고 피치의 경우 무인 비행체가 전진하며 요일 때 무인 비행체가 시계방향으로 회전하였다.

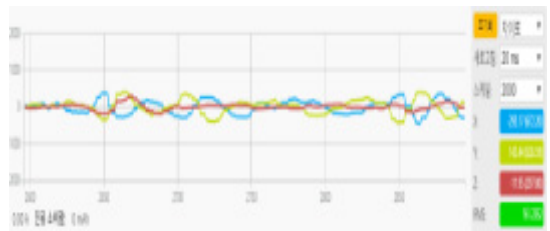
표 2. PID 출력 값
Table 2. PID output value

	P	I	D
REF./ACRO			
ROLL	46	45	25
PITCH	50	50	27
YAW	65	45	-

표 2는 안정적인 호버링을 위하여 설정한 PID값으로 위의 값에서 안정적인 호버링이 가능하였다. P를 높일수록 무인 비행체는 각도에 더 민감해지고 진동이 심해진다. P를 낮추면 무인 비행체가 더 느리고 부

드럽게 비행한다. I는 각도 정밀도에 영향을 주며 I 값을 높이면 느리게 반응하고 P 효과를 감소시킨다. D는 완충 장치로써 P에 의한 과도한 보정을 잡아준다.

베타 플라이트를 사용하여 기체 상태에 따른 자이로값의 변화를 실험하였다. 그림 5(a)는 기체가 불안정한 상태일 때 자이로값을 그림 5(b)는 기체가 안정한 상태일 때 자이로값을 추출하였다. 위 실험을 통하여 기체의 상태에 따른 정확한 자이로 값을 인지하는 것을 확인할 수 있다.



(a) Hovering gyro graph of UAV without PID control



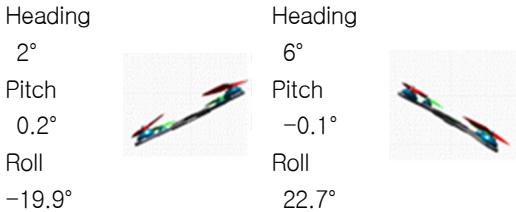
(b) Hovering gyro graph of UAV with PID control

그림 5. PID 제어에 따른 자이로값 변화
Fig. 5 Gyro value change according to PID control

베타 플라이트를 사용하여 기체의 기울기 변화에 따라 센서가 기체의 각도를 정확히 측정하는지를 실험하였다.

Heading 359°		Heading 366°	
Pitch 17.4°		Pitch 21.6°	
Roll 0.6°		Roll 0.6°	

(a) Pitch positive value (b) Pitch negative value

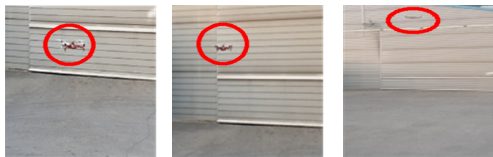


(c) Roll negative value (d) Roll positive value
그림 6. 기울기에 따른 각도 측정

Fig. 6 Angle measurement according to slope

그림 6(a)는 기체가 전진할 때 피치 값이 양수이며, 그림 6(b)는 기체가 후진할 때 피치 값이 음수로 출력되는 것을 확인하였고, 6(c)는 기체가 좌측으로 기울었을 때 롤 값이 음수이며, 그림 6(d)는 기체가 우측으로 기울었을 때 롤 값이 양수로 출력되는 것을 확인하였다.

아래 실험은 앞선 실험에서 확인한 조종 범위 최소 최대값 설정 및 PID제어 기체 상태에 따른 차이로 변화율 실험을 모두 확인하고 비행을 실험을 진행하였다. 무인 비행체의 비행은 매우 위험하기 때문에 안전 거리를 두고 비행 높이는 건물의 높이를 측정하여 무인 비행체를 건물 기준에 맞추어 높이를 측정하였다.



(a) 0.5m Hovering (b) 2m Hovering (c) 5m Hovering
그림 7. 비행 실험 스냅샷
Fig. 7 Flight experiment snapshot

그림 7(a)는 무인 비행체가 약 0.5m 호버링한 사진이고 그림 7(b)는 무인 비행체가 약 2m 호버링, 그림 7(c)는 약 5m 호버링한 그림이다.

4.2 영상 실험

표 3은 H의 범위 설정에 따른 인식표이며 H가 360이 아닌 180으로 범위를 지정 한 이유는 Open CV 이미지 변수들은 8bit로 설정되어 있어서 최대 255까지만 표현할 수 있기 때문이다.

표 3. H의 범위 설정에 따른 값
Table 3. Value according to the range setting of H

	Hue(H)	Saturation (S)	Value(V)	recognition
Red	0~10	255	255	X
Red	5~10	255	255	X
Red	169~179	255	255	O
Red	174~179	255	255	O



(a) Red (b) Blue (c) Green

그림 8. 적색 필터링 카메라
Fig. 8 Red filtered camera

그림 8은 HSV 필터링 된 카메라를 이용하여 찍은 결과, 적색[HSV(180, 255, 255)]을 제외한 청색[HSV(80, 0, 0)]과 녹색[HSV(160, 0, 0)]은 흑백 색상으로 나타남을 보여준다.

아래 표 4는 적색 원으로부터 카메라의 거리와 크기가 변수가 되었을 때의 인식 유무이다. 적색 원의 반지름이 10cm와 5cm 일 때, 거리에 따른 색상 인식이 가능한 반면, 반지름이 3cm 이하인 적색 원의 색상 인식은 0.5m 거리부터 색상 인식이 불가능한 것을 확인할 수 있다.

표 4. 거리 및 크기에 따른 적색 원의 인식표
Table 4. Tag of red circle by distance and size

distance(m) radius(cm)	0.5	1.5	3	5
10	○	○	○	○
5	○	○	○	○
3	○	○	○	X
1	○	○	X	X

V. 결론 및 향후개선 방향

본 논문에서는 무인 비행체 동작 원리인 기체 상승 원리와 롤, 피치, 요의 원리를 이용하고 베타 플라이트를 이용한 스로틀, 피치, 롤, 요의 범위 설정과 PID 제어 및 MPU6000 센서의 차이로 값과 가속도 변화를 측정하였고 안정적인 호버링을 설계하였다. 그 결과 0.5m, 2m, 5m 높이에서 무인 비행체 호버링을 구현하였으며 무인 비행체에 카메라를 부착과 동시에 라즈베리 파이를 통한 Open CV를 이용하여 화재와 같은 붉은 HSV 값을 추출하였다.

향후 무인 비행체를 호버링하는 중에 카메라 흔들림을 줄이기 위해 GPS와 지자기 센서를 이용하여 고도와 위치를 기억하여 영상 촬영을 안정적으로 하고 카메라를 추가로 장착하여 초기 붉은 색을 발견하였을 때 추출해내는 시간을 현재보다 단축시키는 것이 가능할 것이라 판단된다.

References

- [1] J. Lee, "Study on the effect and influence of broadcast using drone," Master's Thesis, SangMyung University, 2015.
- [2] H. Song and Y. Lee, "Forest Fire Monitoring System using a Panoramic Image based on Multiple Cameras and Measuring of Distance," *J. of the Korea institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 32, no. 3, 2018, pp. 44-52.
- [3] J. Jo, "Communication Network Topology and Performance Evaluation of the Drone Delivery System for Collision Avoidance," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 8, 2015, pp. 915-920.
- [4] C. Basdogan, *Discrete PID Controller, Robotics Courses*. Istanbul: Koc University Press, 2004.
- [5] S. Bouabdallah, P. Murrieri, and R. Siegwart, "Towards Autonomous Indoor Micro VTOL," *Autonomous Robots*, vol. 18, no. 2, 2005, pp. 171-183.
- [6] Y. Kim, J. Shin, S. Lee, H. Lee, H. Lim, K. Kim, and S. Lee, "Quad-rotor Attitude Stabilization by using PID Controller," *J. of Aerospace System Engineering*, vol. 4, no. 4, 2010, pp. 18-27.
- [7] D. Yoon, K. Lee, S. Han, and S. Lee, "A Study on Flight Stabilization of Drones by Gyro Sensor and PID Control," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 4, 2017, pp. 591-598.
- [8] J. Oh, J. Seol, Y. Gong, S. Han, and S. Lee, "Drone Hovering Using PID Control," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 13, no. 6, 2018, pp. 1269-1274.
- [9] H. Park, H. Shi, H. Kim, and K. Park, "A User Adaptation Method for Hand Shape Recognition Using Wrist-Mounted Camera," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 6, 2013, pp. 805-814.
- [10] Y. Kwon, "A Key-Frame Extraction Method based on HSV Color Model for Smart Vehicle Management System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 4, 2013, pp. 595-604.
- [11] C. W. Kim, *Digital Image processing*. Paju: Sangneung publisher, 2016.
- [12] D. H. Lim, *Video Processing Using Open CV*. Paju: Free Academy, 2014.
- [13] J. Park, "Smoke Detection, RGB-Depth Camera, Kinect, Infra-red Pattern," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 2, 2014, pp. 155-160.

저자 소개



최정욱(Jeong-Wook Choi)

2016년 3월~현재 남서울대학교 전자공학과 재학
2020년 남서울대학교 전자공학과 졸업예정

※ 관심분야 : 통신시스템, 디스플레이공학



이승대(Seung-Dae Lee)

1990년 단국대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1992년 단국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1990년 단국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1995년~현재 남서울대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 유무선통신시스템, 네트워크 보안



김보성(Bo-Seong Kim)

2014년 3월~현재 남서울대학교 전자공학과 재학
2020년 남서울대학교 전자공학과 졸업예정

※ 관심분야 : 통신시스템, 전력전자



유제민(Je-Min Yu)

2014년 3월~현재 남서울대학교 전자공학과 재학
2020년 남서울대학교 전자공학과 졸업예정

※ 관심분야 : 통신시스템, 자동제어



최지훈(Ji-Hoon Choi)

2014년 3월~현재 남서울대학교 전자공학과 재학
2020년 남서울대학교 전자공학과 졸업예정

※ 관심분야 : 통신시스템, 반도체공학

