Regular paper | Journal of the KIECS. pp. 1269-1274, vol. 13, no. 6, Dec. 31 2018, t. 92, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2018.13.6.1269

PID 제어를 이용한 드론의 호버링

오지완* · 설재원* · 공연희* · 한승재* · 이승대**

Drone Hovering using PID Control

Ji-Wan Oh* · Jae-Won Seol* · Youn-Hee Gong* · Seung-Jae Han* · Seung-Dae Lee**

요 약

전 세계적으로 드론에 대한 관심이 급증하면서, 다양한 분야에서 드론 활용에 대한 연구가 진행되고 있다. 이에 본 논문에서는 드론의 호버링을 실현시킴으로써 드론의 기술기반을 확립한다. Arduino Uno를 주 제어장치로 사용하였으며, 3축 자세 및 방위각 센서로 부터 얻은 데이터를 필터를 거쳐 기울어진 정도를 파악한다. 이 기울어짐을 PID 제어를 통해 보정함으로써 안정적으로 수평자세제어가 가능한 드론을 구현한다.

ABSTRACT

In this paper, it covers technical aspect of drone by introducing the drone hovering. Arduino Uno and 3-axis attitude and azimuth sensor are the two main components of the drone. Arduino Uno is used as a main controller and 3-axis attitude and azimuth sensor are used to collect axial (X,Y,Z) data, which is massaged to determine the pitch (fore and aft tilt) and the bank (side to side tilt). Furthermore, drone stabilizes horizontal attitude by correcting these tilted angle through PID control.

키워드

Quad-copter, Hovering, PID Controller, PPM, Encoder
쿼드콥터, 호버링, 비례-적분-미분 제어기, 펄스 위치 변조, 인코더

Ⅰ. 서 론

"무인항공기, UAV(: Unmanned Aerial Vehicle)"는 "드론(drone)"이란 별칭으로 쓰이면서 전 세계적으로 관심이 급증하고 있다. 드론이란 원래 윙윙거리는 소리를 내며 날아다니는 꿀벌의 수벌을 칭하는 영어 단어인데, 1930년대에 미국에서 군사용으로 개발된 무인항공기를 타겟 드론(target drone)이라고 칭하면서 드론이라는 용어가 쓰이기 시작하였다. 최근 이 드론이 다양한 분야로 활용 가능성이 높아지면서 산업 및 민간용 시장으로 빠르게 확산되어지고 있다. 기상관리, 인명구조 및 영상촬영 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며 특히 취미 레저용으로 점차 대중화·보편화되는 등 세계 각국은 드론 산업을 선점하기 위해 치열한 경쟁구도를 구축하고 있다. 드론 산업은 제조·서비스 융합 모델로 주목받고 있으며, 특히 IT 기술 및 다양

* 남서울대학교 전자공학과 (ojw9311@naver.com, jwseol6268@naver.com, dusgml761@naver.com, gkstmdwo100@naver.com)
** 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과
· 접 수 일 : 2018. 06. 25
· 수정완료일 : 2018. 09. 19
· 게재확정일 : 2018. 12. 15
· Received : Jun. 25, 2018, Revised : Sep. 19, 2018, Accepted : Dec. 15, 2018
· Corresponding Author : Seung-Dae Lee
Dept. of Electronic Engineering, Namseoul University,
Email : Seungdae@nsu.ac.kr

한 서비스 등과 융합하면서 시너지 창출이 가능하다. 드론의 하드웨어만으로는 그저 하늘을 나는 소형비행기에 불과하지만 인터넷 통신, 환경보호 등의 서비스 및 콘텐츠와 융합하면 앞으로도 더 많은 신규 비즈니스 모델 창출이 가능하다[1]. 이러한 고성능의 드론이 만들어지기 위해 가장 먼저 실현되어야 하는 것은 안정적인 자세 제어이다. 이것을 호버링(hovering)이라고 하며, 외부에서 어떠한 영향을 주어도 비행체가 제자리에서 정지 비행하는 것을 뜻한다.

본 논문에서는 드론의 기반기술을 확립하기 위해 호버링이 가능한 드론을 제작하고자 한다. 기체의 방향·기울기 값을 얻기 위해 자세 센서들이 통합되어있고 칼만 필터가 내장되어 있는 3축 자세 및 방위각 센서인 myAHRS+를 사용하며, 제어장치로는 Arduino Uno를 사용한다. 추가로 코딩을 통해 PID 제어기를 구현하여 안정적인 호버링을 유지하는 것을 목표로 한다.

II. 쿼드콥터 시스템

그림 1은 구현하고자 하는 쿼드콥터 시스템의 블록도를 보여준다. 송신기에서의 출력하는 자세를 수신기로 수신하고 PPM Encoder를 통해 4가지 채널의 자세제어 값, 즉 Throttle, Yaw, Roll, Pitch 값을 MCU에 무선으로 전송한다. MCU는 가속도, 자이로, 지자기가 내장된 myAHRS+센서를 I2C 통신으로 드론의 현재 자세 값을 받으며 자세 값은 PID 제어를 거쳐서 드론의 자세가 수평 유지가 되도록 변속기와 모터에서 출력을 조절하여 호버링을 구현한다. 호버링은 비행체가 설정한 비행 위치에서 변하지 않는 것이며 이를 실행하기 위해서는 Roll, Pitch, Yaw 값을 정확히 측정하여 모터의 출력을 제어하여 자세를 유지하는 것이다.

쿼드콥터는 4개 이상의 모터를 가지고 있으며 그 모터의 회전 때문에 양력이 발생하여 비행을 수행한다. 이 과정에서 필수적인 것은 모터 회전을 정밀하게 제어하는 것이며 이를 담당하는 것이 바로 변속기이다. 그리고 변속기를 정밀하게 다루기 위해서 현재 비행체의 자세를 측정하여야 하는데 이를 자세제어 센서를 담당하며 PID 게인 값을 조절하여 드론의 호버링을 진행한다. 쿼드콥터의 모델링은 먼저 중력의 중심을 기준으로 하는 몸체 고정 좌표계를 B라 정의한다. 자유도를 가지는 쿼드콥터의 시스템을 x, y, z, φ, ψ, θ 6개의 축으로 계산된다. 먼저 x, y, z축은 E 좌표계에서 표현된 쿼드콥터의 무게중심의 좌표를 의미한다. φ, ψ, θ 축은 B 좌표계에서 표현된 쿼드콥터의 3개의 각 즉 Roll, Pitch, Yaw 값을 의미한다[2-4].

역학계에서 운동에너지 T 및 퍼텐셜에너지(위치에너지) V를 일반화 좌표 qi와 그 시간 t에 관한 미분인 속도 qi의 함수라고 하였을 때 $L = T - V$ 으로 정의되는 양 L을 말한다. L에 관해서는 최소작용의 원리가 성립한다. 쿼드콥터의 동역학 방정식에서 $F = (F_p, \tau)$이고, x축, y축, z축의 운동에너지 제곱은 쿼드콥터의 작용하는 외부 양력을 의미하고 τ는 외부 토크를 의미한다. 쿼드콥터의 움직임을 지구 관성 좌표계 E로 살펴보기 위해서는 쿼드콥터 몸체 고정 좌표계 B로 표현되는 외부 양력을 지구 관성 좌표계 E로 변환해야 한다. 방정식을 풀면 양력과 토크에 해당하는 분리된 식을 얻게 되는데 방정식에서 지구 관성 좌표계의 3 좌표축과 연관된 병진 운동 계수에서 코리올리 구심 벡터 성분이 나오게 되며 쿼드콥터에 작용하는 코리올리 구심 벡터는 매우 작은 성분이다. 또한, 쿼드로터에 사용되는 프로펠러 사이즈는 매우 작기 때문에 F 또한 매우 작은 값을 가진다. 결과론적으로 두 종류의 힘은 쿼드로터 동역 학식에 매우 작은 효과밖에 주지 못하기 때문에 코리올리 구심 벡터 성분은 제의해도 무방하게 된다[5-7].

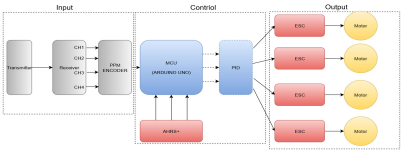


그림 1. 시스템 블록도
Fig. 1 Block diagram of system

그림 2은 수신기에서 나오는 PWM 신호를 PPM 신호로 변조하였을 때 모습을 보여주며 오류를 제거하려는 방안으로 PPM 인코더를 사용하여 수신기에 출력되는 PWM 신호를 PPM 인코더를 사용하여 PPM으로 신호로 변조하고 MCU에 PPM을 읽을 수

있는 코딩을 하여 MCU에서 신호를 처리하는 과정에서 나타나는 오류를 처리한다.

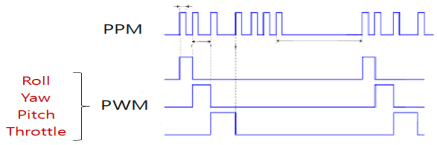


그림 2. PWM신호를 PPM신호로 변조
Fig. 2 Modulation of a PWM signal to a PPM signal

쿼드콥터 자세를 제어 방법으로 PID 제어를 사용하였다. PID 제어기는 센서에서 나오는 각도 값을 받아서 드론의 수평을 유지하기 위해 사용하였다. PID 제어기는 기본적으로 피드백(feedback) 제어기의 형태를 가지고 있으며, 제어하고자 하는 대상의 출력 값을 측정하여 이를 원하고자 하는 참조 값 혹은 설정값을 비교하여 오차를 계산하고, 이 오차 값을 이용하여 제어에 필요한 제어 값을 계산하는 구조로 되어 있다.

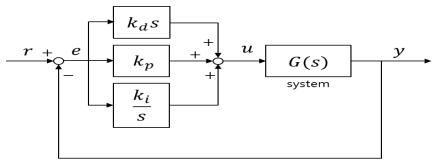


그림 3. PID 제어 시스템의 블록선도
Fig. 3 Block diagram of the PID control system

그림 3은 PID 제어기에서 입력이 P, I, D 제어를 통과 후에 출력되는 모습을 블록도를 통하여 보여주고 있다.

P는 비례(Proportional) 제어이고 I는 적분(Intergral) 제어, D는 미분(Derivative) 제어이다. 비례 제어(P 제어)는 PID 제어기에서 반드시 사용하는 가장 기본적인 제어이며 구현하기가 쉽다. 하지만 이 제어만으로는 정상출력의 오차가 발생한다. 적분 제어(I 제어)는 정상상태 오차를 없애기 위해 사용한다. 미분 제어(D 제어)는 급격한 기울기 변화(외부영향)에 대응한다[8].

표준적인 형태의 PID 제어기는 세 개의 항을 더하여 제어 값을 계산하도록 구성이 되어 있다. PID 제어기의 전달함수는 식 (1)과 같다.

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

이 제어만으로는 정상출력에서 오차가 발생한다. 이러한 오차를 0에 최대한 가깝도록 바로잡기 위해서 비례계수에 적분 계수를 추가하여 사용한다. 비례 적분 제어(PI)는 정상출력의 오차가 거의 없어지는 대신 계수를 안정적으로 잡지 못하면 출력이 불안정해지면서 출력의 반응속도 또한 느려지게 된다. 이러한 제어에 미분 계수를 추가한 비례 미적 제어(PID)는 출력 안정성을 높이고, 출력 반응속도 역시 빠르게 잡을 수 있다[9].

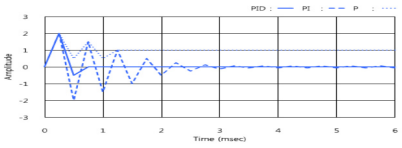


그림 4. PID를 적용에 따른 목표값 도달 시간
Fig. 4 Target value arrival time according to PID control

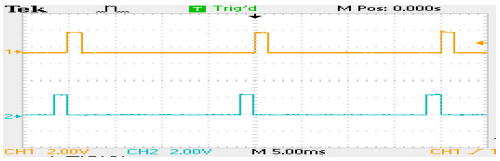
그림 4는 시간에 따른 제어 특성 그래프와 PID 제어를 한 제어 그래프이다. 그래프를 통하여 신호가 PID 제어를 하기 이전보다 빠르게 목표한 제어 값으로 변하는 것을 확인할 수 있다. 그래서 모터의 회전으로 인한 진동이 많이 발생하는 드론 경우 P 제어만을 사용할 경우 미분계수에 따라 값이 큰 폭으로 변화하기 때문에 비행에 부적합하여 드론에서는 PID 제어 방법 중 D를 제어한 PI 제어를 주로 사용한다[10-12].

III. 실험 및 고찰

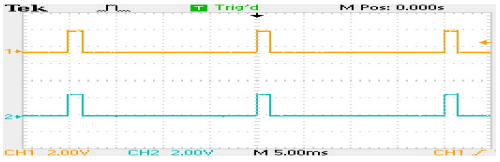
기존에 제공되는 아두이노 오픈소스에 myARHS+를 사용하기 위해 코딩을 호환시켜준 다음 자세제어를 위해 오일러 각만을 출력하게 했다. x 좌표는

Roll, y 좌표는 Pitch, 그리고 z 좌표는 Yaw의 값으로 출력하도록 제작했다. 센서 자체에 내장된 칼만 필터에 의해서 보정된 값이 출력되는 것을 확인할 수 있었다.

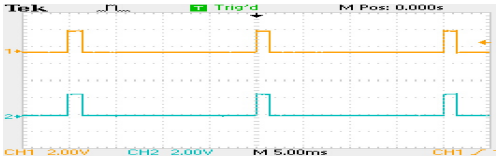
그림 5(a)는 수신기에서 Yaw와 Pitch에 해당하는 PWM 출력을 오실로스코프를 사용하여 측정하여 얻은 출력 파형으로 크기는 같으나 위상차이가 있다. 그림 5(b)는 수신기에서 Pitch와 Roll에 해당하는 PWM 출력을 오실로스코프를 사용하여 측정하여 얻은 출력 파형으로 크기와 위상이 같다. 그림 5(c)는 수신기에서 Throttle과 Roll에 해당하는 PWM 출력을 오실로스코프를 사용하여 측정하여 얻은 출력 파형으로 크기와 위상이 같다.



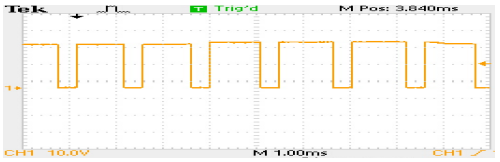
(a) 다른 위상을 갖는 요-피치 PWM 신호파형
(a)Yaw-Pitch PWM signal waveform with different phase



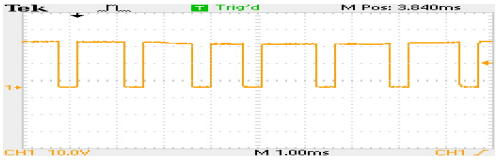
(b) 동일 위상을 갖는 피치-롤 PWM 신호 파형
(b) Pitch-Roll PWM signal waveform with equal phase



(c) 동일 위상을 갖는 스로틀-롤 PWM 신호 파형
(c) Throttle-Roll PWM signal waveform with equal phase



(d) 스로틀 스틱이 중간일 때 PWM에서 PPM으로 변조된 파형
(d) Waveform modulated from PWM to PPM at middle throttle stick



(e) 스로틀 스틱이 최소일 때 PWM에서 PPM으로 변조된 파형
(e) Waveform modulated from PWM to PPM at minimum throttle stick

그림 5. PPM 인코더 통과 전과 후의 출력 파형
Fig. 5 output waveform before and after PPM encoder pass

그림 5(d)는 그림 5(a), 5(b), 5(c)의 3 가지 PWM이 PPM 인코더를 통해서 PPM으로 변환되었다. Z각 출력 값이 일정한 주기로 나타나는 것을 확인했다. 그림 5(e)는 그림 5(d)에서의 PPM 신호가 조종기에서의 Throttle 값을 0으로 조종했을 때의 PPM의 위상이 바뀌면서 동작함을 알 수 있다.

표 1. 수평상태에서의 myAHRS+의 오일러 각
Table 1. Euler angles of the myAHRS+ in the horizontal position

x = Roll	y = Pitch	z =Yaw
1.75	-1.02	115.19
1.75	-1.02	115.19
1.75	-1.02	115.19
1.75	-1.02	115.19
1.75	-1.02	115.19

표 2. 드론을 오른쪽 40° 기울였을 때 myAHRS+의 오일러 각
Table 2. Euler angles of the myAHRS+ when tilted 40 degrees to the right

x = Roll	y = Pitch	z =Yaw
-35.26	-0.79	106.56
-35.26	-0.79	106.56
-35.26	-0.79	106.56
-35.26	-0.79	106.56
-35.26	-0.79	106.56

표 3. Throttle 스틱이 50%로 수평 상태의 모터 회전에 대한 파라미터
Table 3. Parameters for motor rotation in horizontal state with the Throttle Stick at 50 %

motor	m_0	m_1	m_2	m_3
value	2153	2110	2102	2145
	2153	2110	2102	2145
	2153	2110	2102	2145
	2153	2110	2102	2145
	2153	2110	2102	2145
	2153	2110	2102	2145

표 4. 앞으로 30° 기울였을 때 모터의 회전에 파라미터의 변화
Table 4. Variation of parameters for motor rotation with a forward 30 ° angle

motor	m_0	m_1	m_2	m_3
value	2225	2203	1960	1982
	2225	2203	1960	1982
	2234	2212	1969	1991
	2234	2212	1969	1991
	2234	2212	1969	1991
	2234	2212	1969	1991

표 1는 myAHRS+의 센서를 수평 상태로 하였을 때 오일러 각으로 값으로 제작과정에서 제시된 영점이다. 표 2는 드론 오른쪽 40° 기울였을 때 myAHRS+의 오일러 각으로 Roll의 값이 가장 크게 변하는 것을 확인할 수 있었다. 표 3은 수평 상태에서 Throttle을 중간으로 고정했을 때 나오는 모터의 회전 파라미터를 나타내고 있으며 무게중심에 맞추어 모터를 정밀 조정하여 각 모터의 회전 파라미터가 다르게 나왔다. 표 4은 표 3의 상태에서 기체를 앞으로 30° 기울였을 때, 호버링을 위해 모터 m_0와 m_1의 회전 파라미터 값이 증가하고 m_2와 m_3의 회전 파라미터 값이 감소한다. 각각의 좌표의 변화가 일정한 것으로 센서가 정상 작동 중인 것을 확인했다.

Ⅳ. 결 론

본 논문은 3축 자세 및 방위각 센서와 PID 제어를 이용하여 드론의 호버링을 구현하는 연구이다. 드론의 안정화를 위하여 시스템을 블록단위로 설계하고 각 블록별 회로를 구성하였다. 입력부에서 제어부로 신호 전달 시 발생하는 동기에러를 해결하는 방법으로 제어부에 PPM 인코더를 삽입하여 각 센서에서 발생하는 PWM 신호를 시간 천이하여 PPM 신호로 전환 후 해결하였다. 또한, 본 논문에서 구현한 드론은 GPS를 사용하지 않아 정확한 위치에서 이상적인 호버링은 어려웠으나 PID 제어를 통해 외부적 요인으로 인한 드론의 기울기 변화 데이터를 추출하고 추출된 데이터로 4개 모터의 회전속도를 변화시켜 초기 드론을 세팅하였을 때에 자세를 계속 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

References

[1] S. Chae and S. Hong, “The Opportunity and Risk Analysis of Commercial Drones,” *IITP(Institute for Information and Communications Technology Promotion)*, Jeju, Korea, June 2015, pp. 736-737.

[2] 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.

[3] S. Lee, B. Yun, D. Kim, and W. Lee, “Development of a Motor Speed Controller of Drones Considering Voltage Drop of Battery,” *J. of Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, vol. 44, no. 6, 2017, pp. 601-606.

[4] S. Lee, B. Yun, D. Kim, and W. Lee, “Improvement of Altitude Measurement

Algorithm Based on Accelerometer for Holding Drone's Altitude," *J. of Korea Information Processing Society on Software and Data Engineering Korea Communication Agency*, vol. 6, no. 10, 2017, pp. 473-478.

[5] 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.

[6] N. Jung and S. Kim, "A Study on the Camera Gimbal System of Unmanned Flight Vehicle for VR360 Degree Omnidirectional Photographing," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 8, 2016, pp. 767-772.

[7] H. Kim, K. Park, J. Park, B. Min, and Y. Ko, "Automatic Brake system for Stroller using Gyro Sensor," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 4, 2017, pp. 599-606.

[8] S. Haykin, *Introduction to Analog & Digital Communications 2nd edition.* New York: Wiley, 2006.

[9] B. Yun, D. Kim, S. Lee, and W. Lee, "A Technique for Stabilizing Drone Flight using Motor Speed Controller," *J. of Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, vol. 2016, no. 12, 2016, pp. 407-409.

[10] E. Noe, G. Kwon, M. Kim, W. Lee, and Y. Ko, "A Study on the Quadcopter-Making based on PID Control System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 1, 2014, pp. 41-44.

[11] 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.

[12] 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.

저자 소개

오지완(Ji-Wan Oh)

2012년 3월~현재 남서울대학교 전자공학과 4학년 재학
2019년 남서울대학교 전자공학과 졸업예정

※ 관심분야 : 통신시스템, 센서 응용

설재원(Jae-Won Seol)

2013년 3월~현재 남서울대학교 학부과정 4학년 재학
2019년 남서울대학교 전자공학과 졸업예정

※ 관심분야 : 통신시스템, 디스플레이공학

공연희(Youn-Hee Gong)

2015년 3월~현재 남서울대학교 전자공학과 4학년 재학
2019년 남서울대학교 전자공학과 졸업예정

※ 관심분야 : 통신시스템, 전력전자

한승재(Seung-Jae Han)

2015년 3월~현재 남서울대학교 전자공학과 4학년 재학
2019년 남서울대학교 전자공학과 졸업예정

※ 관심분야 : 통신시스템, 반도체 공학

이승대(Seung-Dae Lee)

1990년 단국대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1992년 단국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1999년 단국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1995년~현재 남서울대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 유무선통신시스템, 네트워크 보안