

다중 센서를 융합한 쿼드로터의 자동 호버링 기술 연구

장건우*, 양우석*, 천명현*, 김상훈*
*국립한경대학교 전기전자제어공학과
e-mail: kimsh@hknu.ac.kr

Development of Automatic Hovering Technology of Quad-rotor fused with various Sensors

Gun-Woo Jang*, Woo-Seok Yang*, Myung-Hyun Chun*, Sang-Hoon Kim*
*Department of Electrical and Electronic Engineering
Hankyong National University

요 약

본 논문에서는 쿼드로터의 자동 호버링을 구현하기 위해 다중 센서를 융합하여 자세 및 고도제어, 위치홀딩 시스템 기술을 직접 제작한 기체에 적용해 방법을 제시한다. 개발된 기술은 민간, 산업, 국방 등 다양한 분야의 드론에 적용시켜, 높은 안정성과 신뢰성을 확보한 비행 능력을 제공하는데 초점을 맞추고 있다.

1. 서론

무인비행체(UAV)인 쿼드로터(Quad-rotot)는 현재까지 많은 연구가 되어져 왔고, 시간이 지날수록 그 기술과 성능이 진화하고 있다.

쿼드로터는 회전익(Rotarty-wing) 방식으로 고정익(Fixed-wing)방식보다 상대적으로 비행 속도는 느리지만 수직 이착륙 및 호버링 비행이 가능하여 농업, 항공촬영, 물류, 레저 등 다양한 분야에 사용되어지고 있다.

하지만 무인비행체는 비행 시스템이기 때문에 외란 및 제어실패로 인한 추락이나 충돌을 할 경우, 큰 사고로 이어질 수 있다. 이를 방지 하는 가장 근본적인 방법은 쿼드로터의 정확한 자세, 고도 및 위치를 실시간으로 알고, 각종 외란을 인지해 안정적으로 제어하여 자동적으로 호버링을 하는 것이다.

본 논문에서는 각종 센서로 받은 현재상태 정보들을 가지고 직접 제작한 FC(Flight Controller)와 기체에 적용해 안정적인 자동 호버링 시스템을 제시한다.



(그림 1) 직접 제작한 쿼드로터 3D모델

2. 쿼드로터 설계 요소 및 시스템 구성

2.1 기체, 모터, 프로펠러

본 논문의 쿼드로터는 650 카본 프레임 사용했으며, 기체의 크기에 맞춰 이상적인 효율을 낼 수 있는 700KV의

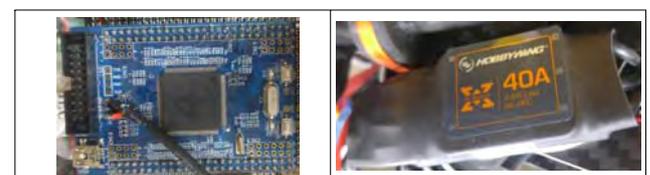


BLDC모터와 12X4 카본 프로펠러를 사용하였다.

(그림 2) 기체, BLDC모터, 프로펠러

2.2 변속기, MCU

쿼드로터의 원활한 제어를 위해서 72MHz의 높은 클럭과 4개의 Timer, 11개의 통신포트를 갖고 있는 Cortex-M3 기반의 STM32F103ZET6 MCU를 사용 하였다. 또한 ESC는 모터에 맞춰 최대 40A의 전류를 허용할 수 있는 모델을 선택 하였다.



(그림 3) MCU, ESC

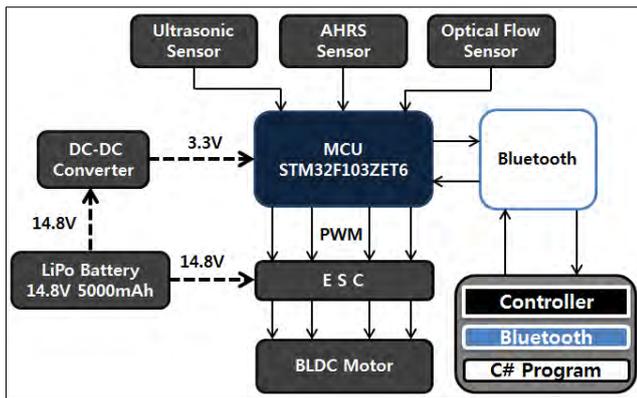
2.3 센서

쿼드로터의 자세제어에 필요한 정보를 받기 위해 오일러 각 Roll, Pitch, Yaw각도 및 각속도, 속도 등의 정보를 최대 1000Hz의 매우 빠른 주기로 갱신 해주는 센서모듈인 AHRS(9DOF)를 선택하였고, 고도제어를 위한 거리 정보를 받아주는 Ultrasonic센서, 위치를 고정을 위해서 X, Y의 상대 좌표정보를 갱신 해주는 광학흐름 영상처리 기반의 Optical Flow센서를 선택하였다.



(그림 4) Optical Flow, AHRS, Ultrasonic 센서

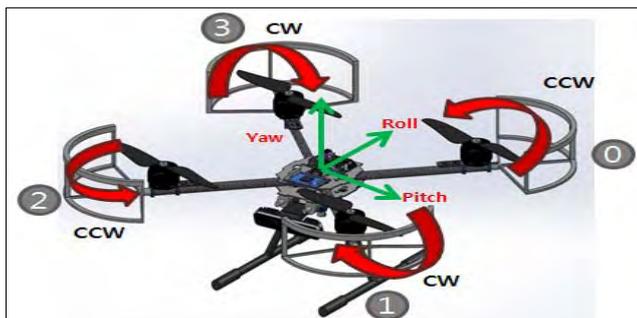
2.4 시스템 구성



(그림 5) 쿼드로터 구성도

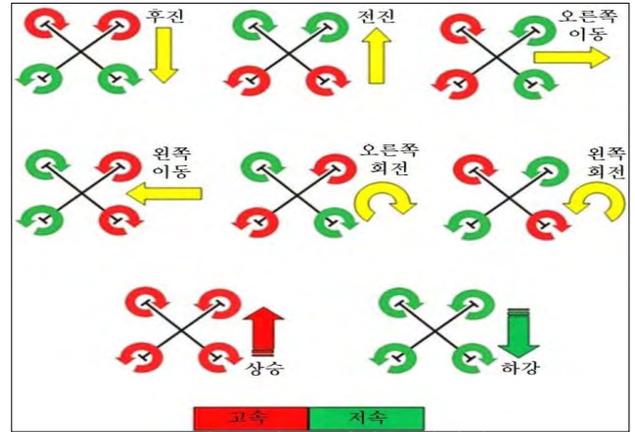
제작된 쿼드로터의 전체적인 시스템 구성은 (그림 5)와 같다. 모든 센서의 정보는 직접 제작한 FC(MCU)로 송신 된 후, PID알고리즘을 거친 PWM 파형이 ESC를 지나 최종적으로 BLDC모터로 입력되어 기체에 필요한 추력을 얻어 안정적인 호버링 제어를 구현한다.

3. 쿼드로터 동작원리



(그림 6) 쿼드로터의 동작원리

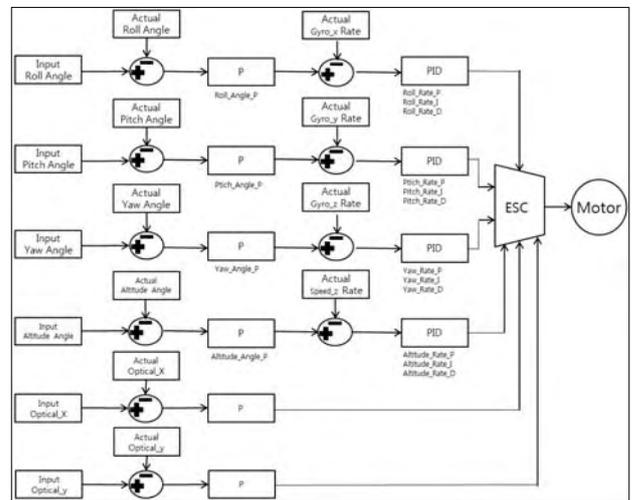
기체는 (그림 6)처럼 4개의 모터를 고정시킨 후, CW(시계방향)프로펠러를 ①③모터에 장착하고 CCW(반시계방향) 프로펠러를 ②④모터에 서로 마주보게 장착한다. 4개의 모터가 같은 크기로 회전하게 되면 아래쪽으로 바람이 발생된다. 각 모터가 바람을 발생시키는 힘을 추력이라고 하며, 그 반작용으로 쿼드로터는 상승하게 된다.



(그림 7) 쿼드로터의 동작정리

(그림 7)은 쿼드로터의 방향 제어를 각 모터의 상대적인 회전 속도로 인한 Roll, Pitch, Yaw의 움직임 원리로 표시한 것이다. [1][2]

4. 쿼드로터 호버링을 위한 제어 시스템



(그림 8) 쿼드로터의 P-PID 제어기

(그림 8)은 본 논문의 쿼드로터 제어 알고리즘이다. 맨 위에서부터 Roll, Pitch, Yaw, Altitude, Optical_X, Optical_Y 순이다. 모든 자세 정보들은 각각 독립적으로 P-PID 제어루프를 거치게 된다.

P-PID제어 알고리즘은 1차적으로 목표 값과 현재 값의 차를 Angle_Error로 두고, 그 Angle_Error에 P(비례)gain을 곱한 값에 피드백 받은 현재 Gyro_rate값을 좌표계에 맞게 더하거나 빼준다. 여기까지 Rate_Error = (Error *

outer_P_gain) - Gyro_Rate 식으로 표현할 수 있다. 2차적으로 Outer Loop에서 구한 Rate_Error를 가지고 Inner Loop에서 각각 독립적으로 P I D연산을 실행한다. 결과적으로 연산된 값들은 모두 더해져 PWM폭을 조절해 ESC에 신호를 줘서 최종적으로 BLDC모터를 제어하게 된다. 위의 내용처럼 P-PID제어가 정상적으로 진행 되어도 제어주기가 낮으면 정확하고 빠른 호버링 제어를 할 수 없게 된다. 그 이유는 아무리 정확한 자세 정보들이 제어기에 들어와도 실시간으로 목표 자세로 수렴하는데 Delay가 발생하기 때문이다. 그러므로 최소 300Hz의 제어주기를 맞춰 주어야 원활하게 자동 호버링을 할 수 있게 된다. 본 논문의 쿼드로터의 제어주기는 500Hz이다.[3][4]

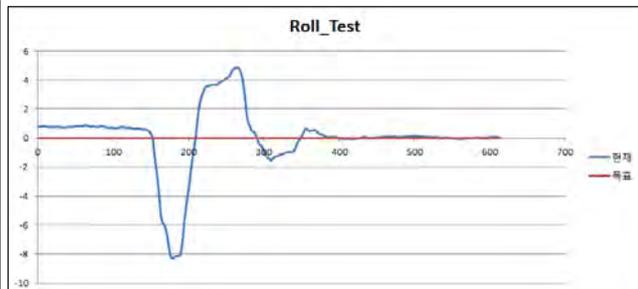
5. 실험 결과 및 성능 평가

5.1 자세, 고도제어 및 위치홀딩 실험



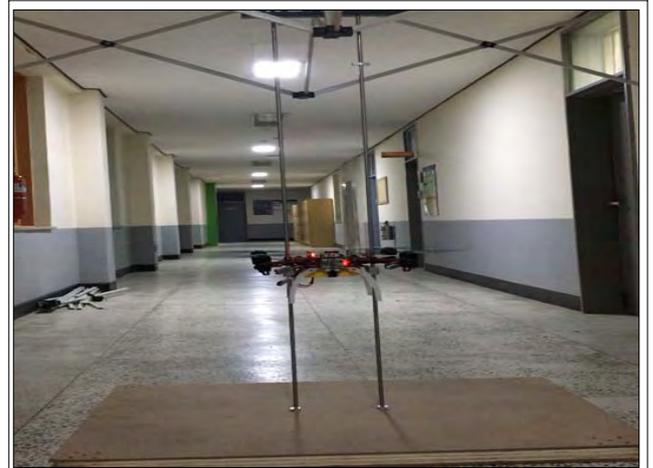
(그림 9) 자세제어 Test-bed

자세제어 실험은 (그림 9)처럼 실험환경을 직접 제작하여 쿼드로터를 설치하고 모터를 일정 추력으로 고정시켜 놓은 상태에서 Trial&Error를 통해 정확한 Roll, Pitch gain값을 설정 하였다.



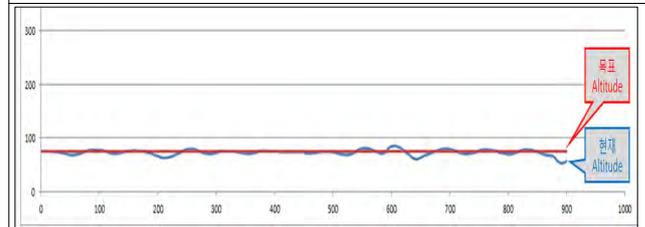
(그림 10) Roll_Test_Graph

(그림 10)은 Roll 방향으로 외란 발생 시 목표 값인 0으로 수렴한 그래프이다.



(그림 11) 고도제어 Test-bed

고도제어 실험도 (그림 11)과 같이 직접 제작한 환경에 쿼드로터를 설치하고 Trial&Error를 통해 정확한 gain을 설정 하였다.



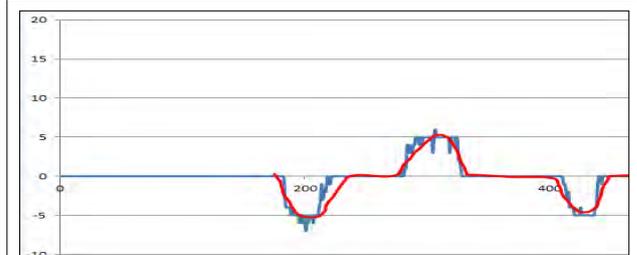
(그림 12) Altitude_Test_Graph

(그림 12)는 목표 값으로 설정한 80cm 고도에 수렴하는 고도홀딩 그래프이다. 외란이 없으면 문제없이 목표치로 수렴하는 것을 확인 하였다.



(그림 13) 위치홀딩 Test-bed

위치홀딩 실험은 (그림 13)처럼 복도에 천막을 설치하고 천막의 다리에 줄을 설치해 쿼드로터와 각각 연결하여 안전한 환경에서 실험을 하였다.



(그림 14) Optical Flow_X_Test_Graph

(그림 14)는 X축의 목표 값 0으로 수렴하는 그래프이다. 빛의 영향을 받는 센서이다 보니 밝기에 따라 정확도가 결정 되었다.

5.2 자동 호버링 비행 실험

(그림 15)는 모든 Test-bed 위에서 Trial&Error를 통해 가장 이상적인 gain값들을 설정한 후 실내 및 실외에서 자동 호버링 비행 Test를 한 영상의 일부이다.



(그림 15) 실내·외 자동 호버링 Test

실험 결과 Roll, Pitch는 정확히 0°를 유지했고, Yaw는 약 $\pm 30^\circ$ 의 오차를 보였다. Altitude는 목표 고도인 80cm를 약 $\pm 3cm$ 의 오차로 유지하였다. 마지막으로 가장 중요한 위치 홀딩은 이륙위치를 기준으로 X, Y축 모두 $\pm 30cm$ 정도의 오차를 보이며 위치홀딩을 하였다.

6. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 쿼드콥터 드론의 안정적인 제어와 완벽한 호버링을 위한 방법을 연구하였다. 목표를 달성하기 위해 9DOF, 초음파센서를 통한 자세제어 알고리즘뿐만 아니라 Optical Flow 센서를 융합하여 자세제어를 수행하는 와중에 정확한 위치제어를 가능하게 하였다.

또한 고도제어의 정확성을 높여 추후 진행하게 될 드론 위에서의 영상처리를 보다 안정적으로 할 수 있도록 하였다.

지금까지 연구한 성과를 바탕으로 자동 이륙 및 자동 착륙과 GPS 센서를 이용한 자동주행 기능까지 구현 하는 것을 향후 개발 방향으로 선정하였으며 최종적으로 드론이 영상을 취득하고 영상 내에서 추적하고자 하는 물체를 선택하여 자율적으로 주행할 수 있도록 하는 것을 목표로 하고 있다.

참고문헌

- [1]유동현, 정길도, “쿼드콥터 자세제어를 위한 센서융합 연구”, 학위논문(석사), 전북대학교 일반대학원: 전자정보공학부(전자공학) 2015.2
- [2]김현수, 조영완, “다중 센서의 융합을 통한 쿼드콥터형 무인비행체의 호버링 시스템 설계”, 학위논문(석사), 서경대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 2016.2
- [3]NAVER 이뽈병의 블로그, “쿼드콥터 제작기”
- [4]박희수, 오세령, 신지훈, 김상훈, “고속 이동을 위해 드론과 구조 로봇의 도킹기술 개발”, KIPS 추계학술발표대회