



A + 두이노로
Bb + 르게 배우는
Control of
DRONE

Lecture 1: 드론 소개 및 구성

이성현 | 항공우주공학과 / 박사과정

심태민 | 항공우주공학과 / 박사과정

목차

1 프로젝트의 Scope

- 1-1 프로젝트의 목적
- 1-2 프로젝트 진행 방향

2 아두이노란 무엇인가?

- 2-1 왜 아두이노인가?
- 2-2 아두이노의 A to Z

3 왜 멀티로터 드론인가?

- 3-1 멀티로터 드론은 뭐가 다른가?
- 3-2 왜 멀티로터 드론인가?

4 멀티로터 드론의 구성은?

- 4-1 전자장비 / 센서
- 4-2 드론 운영을 위한 시스템의 구성

5 향후 진행 계획

Chapter 1

프로젝트의 Scope

프로젝트의 목적

학부 학생들의 학업 의욕 고취 및 수업에서 얻기 어려운 경험의 습득

조교들의 재량에 따른 프로그램 구성 및 진행

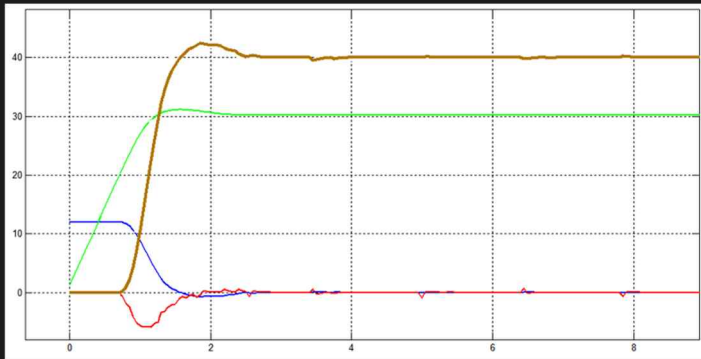
실질적이고 실제 적용 가능한 지식을 습득 및 경험을 목표로

프로젝트의 진행 방향

드론 시스템에 대한 전반적인 이해 및 실습

- 멀티콥터 드론의 소개 및 기본 구성
- 쿼드콥터 운동특성 이해 및 시뮬레이션
- 센서의 이해 및 자세제어 시뮬레이션
- 쿼드콥터 전자장비의 이해 및 하드웨어의 제작
- 쿼드콥터 제어기 튜닝과 비행

프로젝트의 최종 Output



<간단한 동역학 시뮬레이션>



<쿼드로터 하드웨어>



<쿼드로터 실제 비행!>

Chapter 2

아두이노란 무엇인가?

아두이노란?



오픈 소스를 기반으로 한 마이크로컨트롤러 - 완성된 보드 + 개발 도구 및 환경

이탈리아어로 <강력한 친구> 라는 뜻

하드웨어에 익숙지 않은 학생들이 자신들의 디자인 작품을 손쉽게 제어할 수 있게 하려고 고안됨

임베디드 시스템의 일종

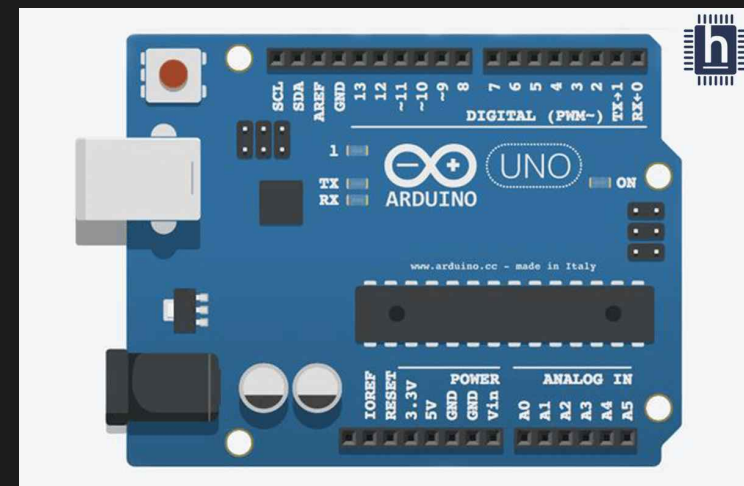
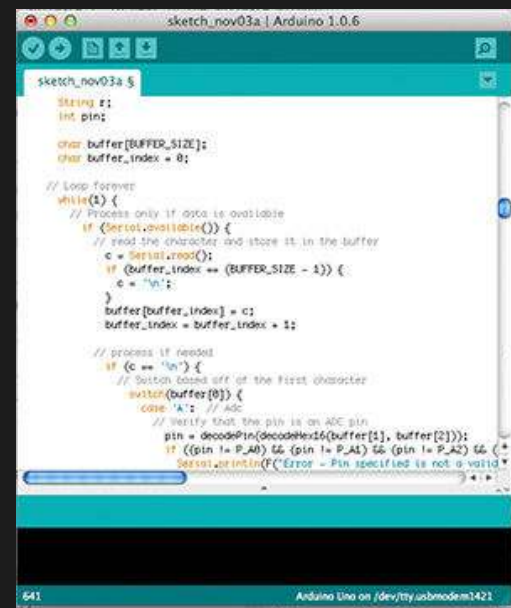
-임베디드 시스템 : 제어가 필요한 시스템에 대해, 제어를 위한 특정 기능을 수행하는 컴퓨터 시스템

대부분 Atmel 사(社)의 AVR라는 범용 마이크로 컨트롤러 유닛을 두뇌로 사용

-Atmel AVR MCU : 8 bit를 사용하는 초소형 범용 초소형 컨트롤러

오픈 소스를 기반으로 하기 때문에, 다양한 예제 및 공개된 프로젝트를 통해 손쉽게 시스템 구현 가능

다양한 센서를 연결 가능

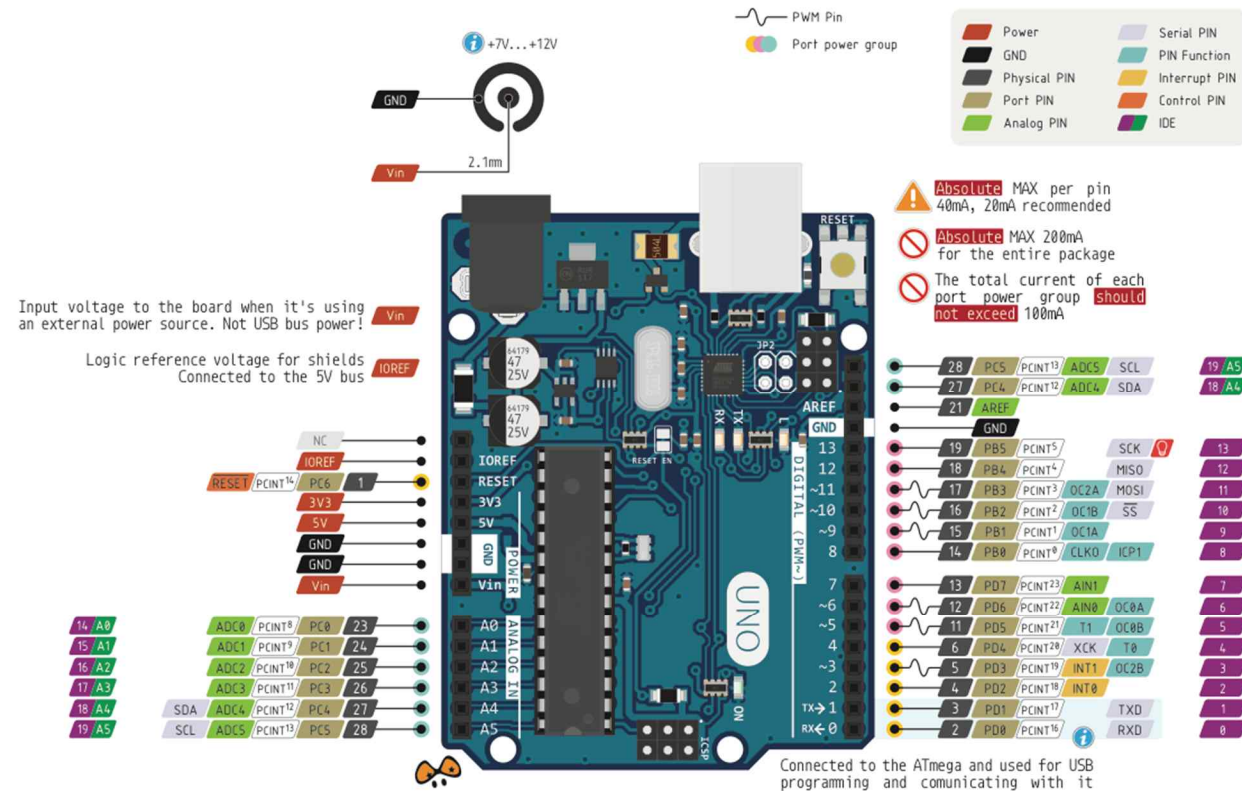


<아두이노 Uno 보드>

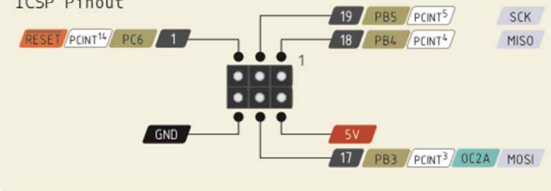
<아두이노 개발 환경 - Sketch>

아두이노 보드의 상세

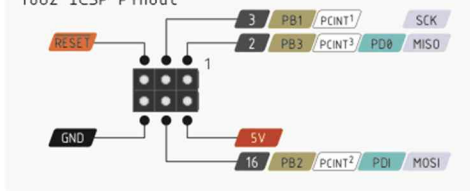
코어를 담당하는 **MCU**에서, 다양한 기능을 수행할 수 있도록 핀을 뽑아 놓음



ICSP Pinout



16U2 ICSP Pinout



Chapter 3

왜 멀티로터 드론인가?

멀티로터란?

회전하는 날개 (로터)를 여러 개 이용하여 양력을 얻어 비행하는 항공기

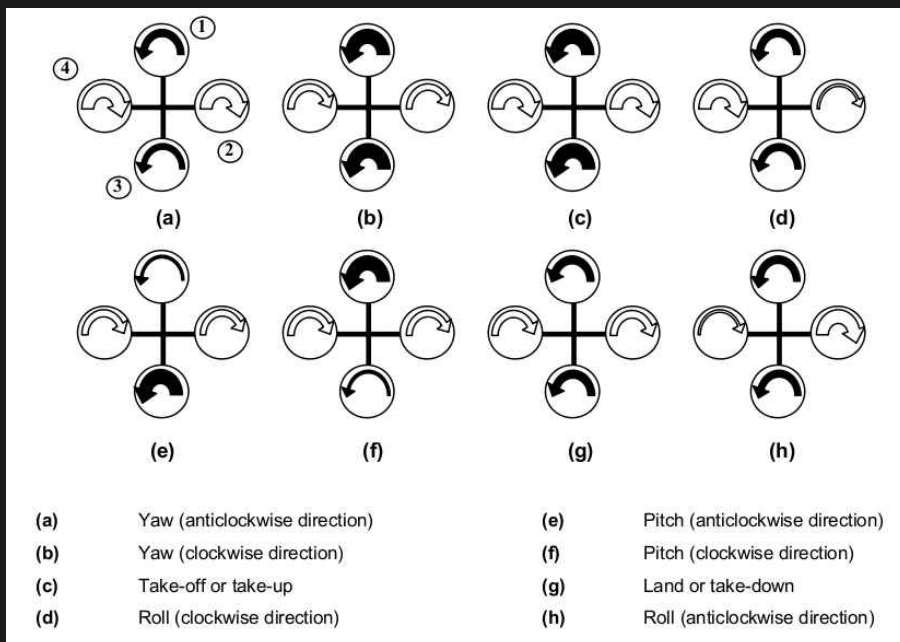
Multi-Rotor = Multi-Copter

rotor : 회전하는 것, 회전자, 회전체

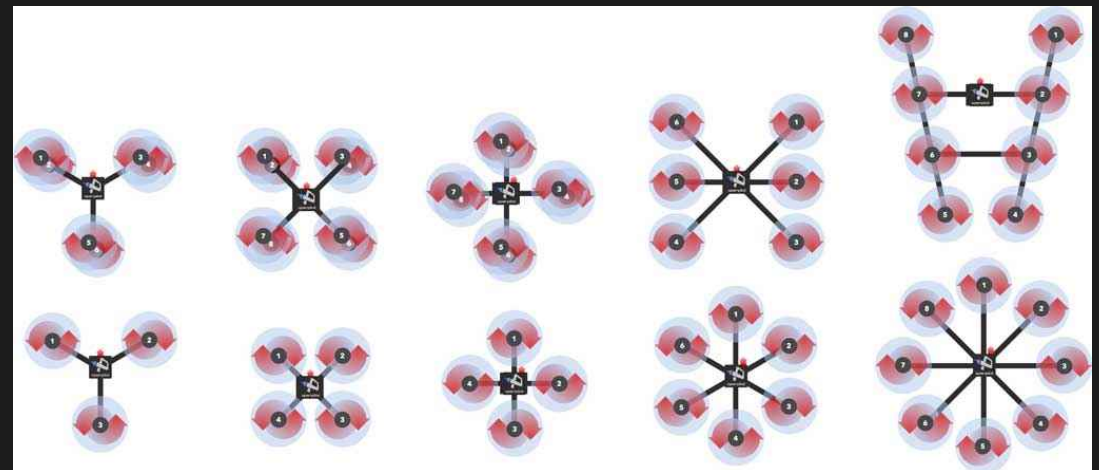
여러 개의 로터의 회전 속도를 조절함으로써 자세를 유지하고, 변경하는 것으로 이동을 수행하는 방식

로터의 회전에 따른 반토크를 제어하기 위해, 모터의 회전 방향을 적절히 설정함.

적절한 제어 로직을 따라 비행 제어 컴퓨터에서 모터의 회전수 변환 명령을 생성, 하달함.



<쿼드로터의 자세 변경 방법>





<멀티로터의 종류>

왜 멀티로터인가?



고정의 항공기와 회전익 항공기의 차이

Fixed Wing Aircraft (고정익 / CTOL) VS Rotary Wing Aircraft (회전익 / VTOL)

두 항공기 형태는 장/단점이 및 강점이 뚜렷함.

| |  |  |
|--------------------------------|---|--|
| Projects | Mapping | Small area mapping & inspection |
| Applications | Land surveying (rural), agriculture, GIS, mining, environmental mgt, construction, humanitarian | Inspection, cinematography/ videography, real estate, surveying (urban), construction, emergency response, law enforcement |
| Cruising speed | High | Low |
| Coverage | Large | Small |
| Object resolution | cm/inch per pixel | mm per pixel |
| Take-off/landing area | Large | Very small |
| Flight times & wind resistance | High | Low |

© senseFly 2015

| Summary Comparison |  |  |
|--------------------------------------|---|---|
| Maneuverability | ✓ | ✗ |
| Price | ✓ | ✗ |
| Size / Portability | ✓ | ✗ |
| Ease-of-use | ✓ | ✗ |
| Range | ✗ | ✓ |
| Stability | ✗ | ✓ |
| Payload Capacity | ✓ | ✗ |
| Safer Recovery from Motor Power Loss | ✗ | ✓ |
| Takeoff / Landing Area Required | ✓ | ✗ |
| Efficiency for Area Mapping | ✓ | ✗ |

<고정의 항공기와 회전익 항공기의 비교>

왜 멀티로터인가?

헬리콥터와 멀티콥터의 차이

- 가장 근본적인 차이

헬리콥터는 로터에 장착된 블레이드의 피치 각도를 변경 - 기계적인 구조가 필요함

멀티콥터는 로터의 회전 속도를 변경 - 별도의 기계적 구조가 필요하지 않음

위와 같은 차이 때문에, 아래와 같은 차이가 발생함

멀티콥터는 회전수를 변경시키기 때문에, 블레이드의 길이를 증가시키는데 한계가 있음.

그러나 유지/보수/세팅/비용 등의 측면에 있어서 멀티콥터는 같은 급의 헬기에 비해 절대적으로 유리함.

엔진/스와시 플레이트 구조 등

헬리콥터는 기계적 구조를 통해 기본적인 안정성을 확보하고 있음

멀티콥터는 그러나 센서 이상, 제어 컴퓨터 이상 등에 매우 민감하여 위험함



<헬리콥터의 스와시 플레이트 구조 및 원리>

왜 멀티로터인가? R/C 헬리콥터의 3D 비행 묘기로 보는 비행성



Chapter 4

멀티로터 드론의 구성은?

전자장비

전체 드론 시스템 요약

비행 제어 컴퓨터

드론의 중추를 담당하는 부분으로, 센서 데이터를 읽고 모터 명령을 생성

센서류

항법 센서 : 드론의 자세, 위치 등의 항법 정보를 획득하기 위한 센서. GPS, INS, 고도계 등이 대표적

임무 센서 : 드론에 할당된 임무를 수행하기 위한 센서. 카메라, 짐벌, 거리 측정기 등

동력부

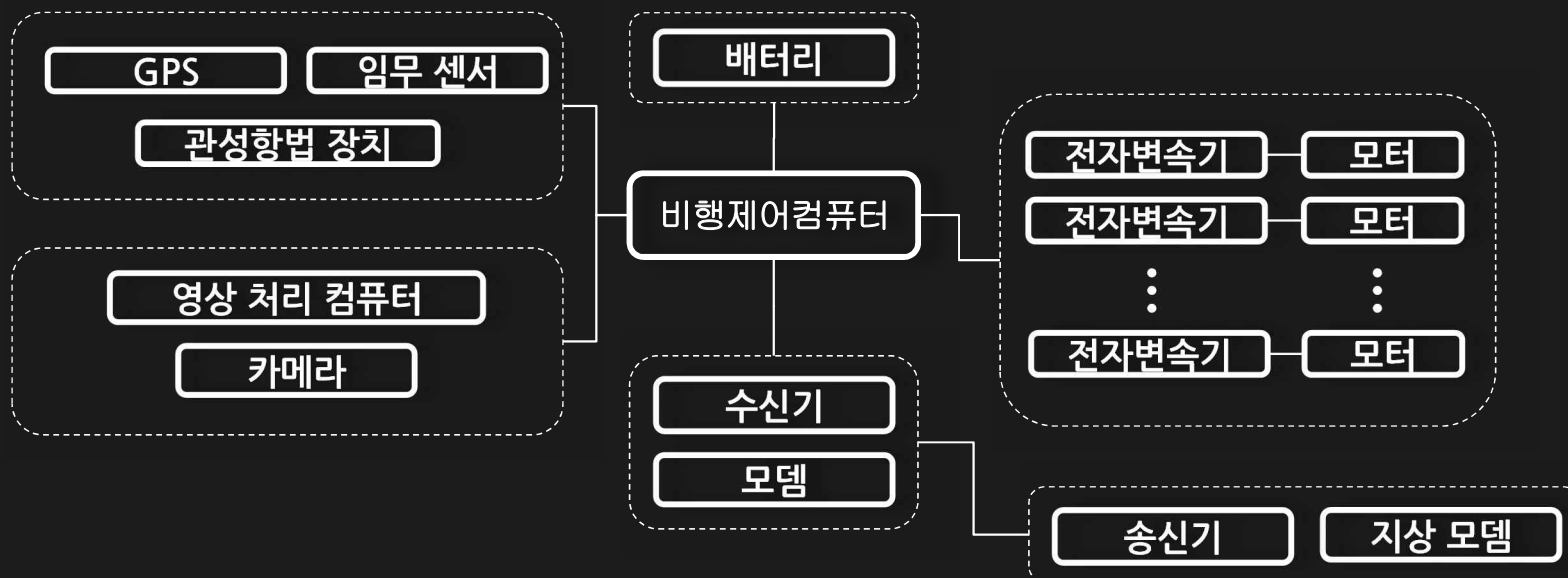
모터 및 프로펠러 : 양력 및 추력을 담당. 한 팔에 모터를 위 아래 두 개 장착하는 동축로터형도 존재

전자 변속기 : 비행 제어 컴퓨터에서 생성한 모터 회전 명령을 모터에 전달하는 장치

통신부

송/수신기 : 지상 파일럿이 하달한 조종 명령을 무선으로 주고 받는 장비.

모뎀 : 지상 통제 시스템에서 드론의 정보를 받아보고, 드론으로 명령을 하달하기 위한 통신 장비



전자장비

비행제어 컴퓨터 (Flight Computer)

멀티로터의 꽃이라 할 수 있는, 두뇌를 담당하고 있는 부분

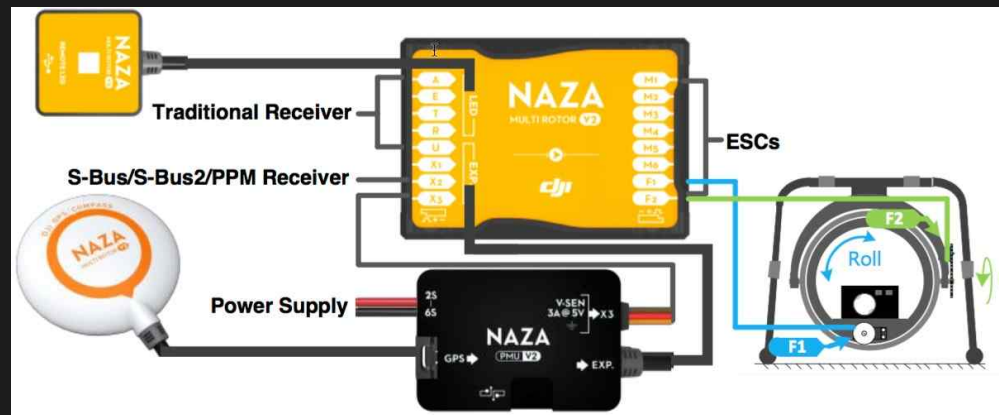
주요 기능

센서를 연결하여 그 측정값을 수집. 그대로 사용하거나, 다른 센서의 측정값과 융합.

센서의 측정값을 바탕으로 자세 유지를 위한 모터 명령 생성 및 하달

조종기 명령을 따르기 위한 모터 명령 생성 및 하달

고차원적인 기능을 수행할 경우, 임무 센서의 측정값을 이용해 자동 비행 수행



<다양한 비행제어 컴퓨터의 예>

전자장비

모터 & 전자 변속기 & 프로펠러

회전자 (rotor)의 회전을 프로펠러의 회전으로 변환하여, 추력 및 양력을 얻는 기관

Brushed DC Motor와 Brushless DC Motor 중 BLDC Motor을 많이 사용

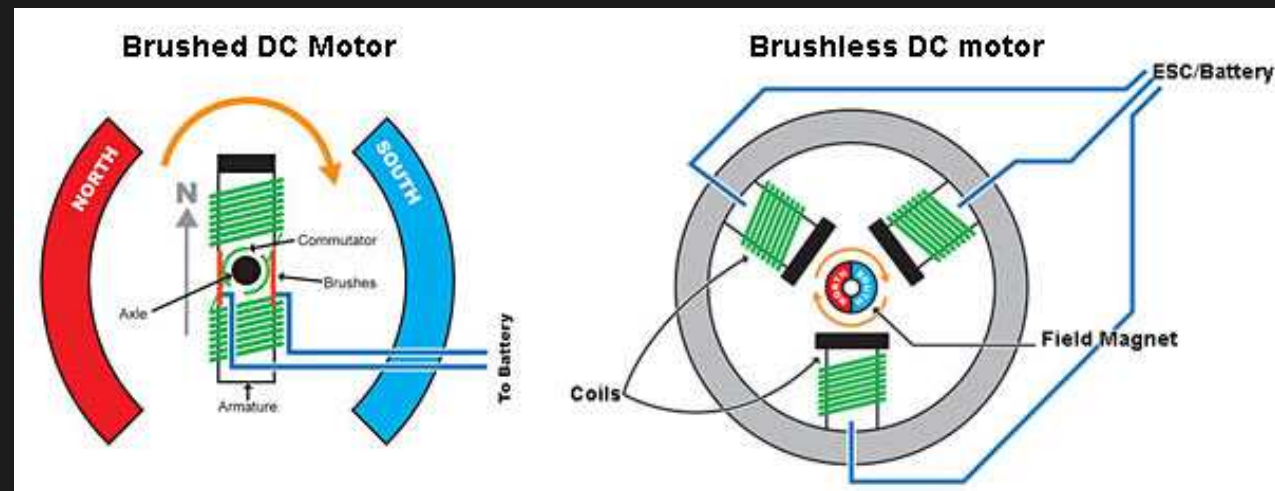
Brushed DC Motor의 경우 효율/소음/유지 에서 단점을 갖고 있음

근래 전자 기술의 약진으로, 전자 변속기의 성능이 좋아지고 가격은 낮아짐.

기체의 체급 및 용도에 맞게 모터 / 전자 변속기 / 프로펠러의 조합을 사용하여야 함.

모터의 스펙에 해당하는 것으로 kV라는 단위가 있음. 이는, 1V당 RPM 을 의미하는 것.

즉, 1,000kV 모터에 10V를 인가할 경우, 10,000RPM 의 속도로 회전



<브러시드 모터와 브러시리스 모터의 모식도>

전자장비

모터 & 전자 변속기 & 프로펠러

프로펠러의 크기와 피치

프로펠러 스펙의 **AxB**는, **A** : 프로펠러의 직경 **B** : 프로펠러의 한 바퀴 회전으로 얼마나 앞으로 나아가는가 (= 피치) 를 각각 의미함



| Item No. | Volts (V) | Prop | Throttle | Amps (A) | Watts (W) | Thrust (g) | RPM | Efficiency (g/W) | Operating temperature(°C) |
|---------------|-----------|-----------------|----------|----------|-----------|------------|-------|------------------|----------------------------|
| MN1806 KV1400 | 7.4 | T-MOTOR 6*2CF | 50% | 1.1 | 8 | 57 | 7000 | 7.00 | 38 |
| | | | 65% | 1.3 | 10 | 72 | 7900 | 7.48 | |
| | | | 75% | 1.5 | 11 | 85 | 8500 | 7.66 | |
| | | | 85% | 1.9 | 14 | 104 | 9350 | 7.40 | |
| | | | 100% | 2.2 | 16 | 119 | 10000 | 7.31 | |
| | | T-MOTOR 7*2.4CF | 50% | 1.3 | 10 | 76 | 5800 | 7.90 | 40 |
| | | | 65% | 1.8 | 13 | 103 | 6700 | 7.73 | |
| | | | 75% | 2.3 | 17 | 129 | 7400 | 7.58 | |
| | | | 85% | 3.1 | 23 | 162 | 8300 | 7.06 | |
| | | | 100% | 3.6 | 27 | 185 | 8800 | 6.94 | |
| | | T-MOTOR 8*2.7CF | 50% | 1.5 | 11 | 88 | 4800 | 7.93 | 45 |
| | | | 65% | 2.3 | 17 | 134 | 5900 | 7.87 | |
| | | | 75% | 3.2 | 24 | 173 | 6600 | 7.31 | |
| | | | 85% | 4.2 | 31 | 214 | 7250 | 6.89 | |
| | | | 100% | 4.8 | 36 | 238 | 7600 | 6.70 | |
| | | T-MOTOR 9*3CF | 50% | 1.7 | 13 | 107 | 4000 | 8.51 | 49 |
| | | | 65% | 3 | 22 | 169 | 5000 | 7.61 | |
| | | | 75% | 4.1 | 30 | 213 | 5600 | 7.02 | |
| | | | 85% | 5.3 | 39 | 246 | 6050 | 6.27 | |
| | | | 100% | 6 | 44 | 270 | 6300 | 6.08 | |
| | 11.1 | T-MOTOR 6*2CF | 50% | 1.5 | 17 | 105 | 9700 | 6.31 | 44 |
| | | | 65% | 1.9 | 21 | 132 | 11000 | 6.26 | |
| | | | 75% | 2.2 | 24 | 153 | 11500 | 6.27 | |
| | | | 85% | 2.9 | 32 | 191 | 12800 | 5.93 | |
| | | T-MOTOR 7*2.4CF | 50% | 2 | 22 | 141 | 7750 | 6.35 | 50 |
| | | | 65% | 2.9 | 32 | 198 | 9000 | 6.15 | |
| | | | 75% | 3.9 | 43 | 252 | 10100 | 5.82 | |
| | | | 85% | 5.1 | 57 | 305 | 11040 | 5.39 | |
| | | T-MOTOR 8*2.7CF | 50% | 2.3 | 26 | 161 | 6300 | 6.31 | 70 |
| | | | 65% | 3.8 | 42 | 247 | 7800 | 5.86 | |
| | | | 75% | 5.1 | 57 | 304 | 8600 | 5.37 | |
| | | | 85% | 6.5 | 72 | 357 | 9200 | 4.95 | |
| | 14.8 | T-MOTOR 5*3CF | 50% | 1.8 | 27 | 166 | 12600 | 6.23 | 42 |
| | | | 65% | 2.4 | 36 | 208 | 13800 | 5.86 | |
| | | | 75% | 2.8 | 41 | 240 | 15200 | 5.79 | |
| | | | 85% | 3.7 | 55 | 290 | 16600 | 5.30 | |
| | | T-MOTOR 6*2CF | 50% | 2 | 30 | 209 | 11300 | 7.06 | 54 |
| | | | 65% | 2.8 | 41 | 266 | 13100 | 6.42 | |
| | | | 75% | 3.6 | 53 | 330 | 14000 | 6.19 | |
| | | | 85% | 4.7 | 70 | 397 | 14900 | 5.71 | |
| | | | 100% | 5.6 | 83 | 445 | 16100 | 5.37 | |

전자장비

배터리

모터를 구동하기 위한 전력원으로, 충전으로 재사용이 가능함

2000년대 중반까지 NiCd, NiMH 소재를 사용한 배터리를 많이 사용하였으나, 이후 LiPo 소재의 전지가 주류를 이루게 됨

LiPo 전지의 장점 ? - 고속충전 (= 고방전률) / 에너지 밀도가 높음(NiCd의 2배 / 납축전지의 6배)
기전력이 큼 (3.7~4.2V) / 기억효과가 없음 / 가벼움

LiPo 전지의 단점 ? - 완전 방전 / 과다 충전에 대한 리스크가 매우 큼! / 쇼트 및 충격에 의한 폭발 위험성

배터리 밸런서

LiPo 배터리를 구성하고 있는
각 셀의 배터리 전압을 균형
있게 충전할 수 있도록 도와줌



배터리의 셀 수 및 전압

셀 수란, 직렬로 연결한 LiPo 전지의 개수. 한 셀의 표준 전압을 3.7V로 보기 때문에, 4셀 전지라면 $4 \times 3.7 = 16.8\text{V}$ 를 표준으로 봄

배터리의 용량

1시간에 얼마만큼의 전기를
뽑아낼 수 있는가?
**5000mAh : 5A의 전기를 1시간
동안 뽑아낼 수 있음**

배터리의 방전률

배터리에 해를 입히지 않는 범위에서
얼마나 빨리 전기를 뽑아낼 수 있는가?

**25-35c : 5A의 25~35배의 암페어로
전기를 뽑아낼 수 있음!**

전자장비

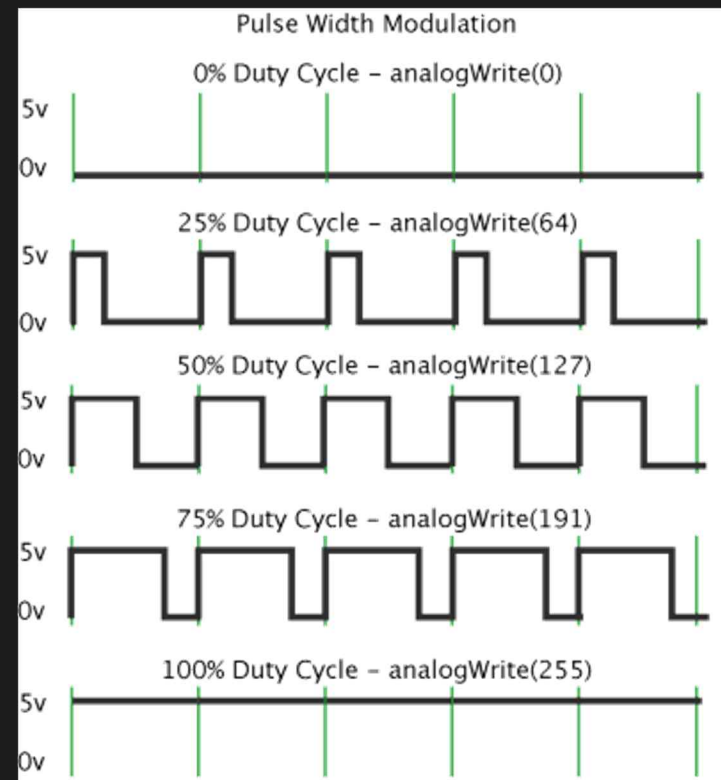
송신기 & 수신기

조종사의 조종 명령을 송/수신하는 장치.

무선 조종을 위해 27MHz, 40MHz, 70MHz 등을 사용했으며, 최근에는 2.4GHz 대역을 주로 이용함
송신기와 수신기의 짝을 맞춰주는 페어링 과정이 필요

송신기의 경우, Mode 1과 Mode 2의 두 가지 방식이 주로 사용됨.

신호는 PWM (Pulse Width Modulation)을 기본적으로 사용하며, 이외에 자주 사용되는 신호 규약으로 S-BUS 형식이 존재함.



센서류

GPS/ INS

GPS (Global Positioning System)

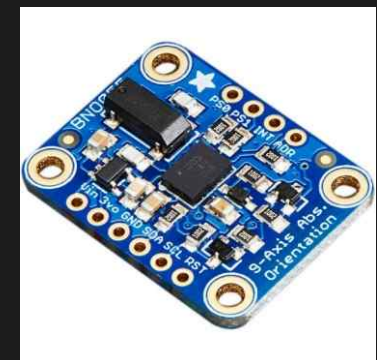
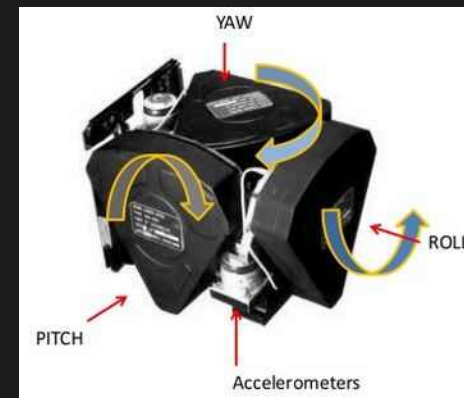
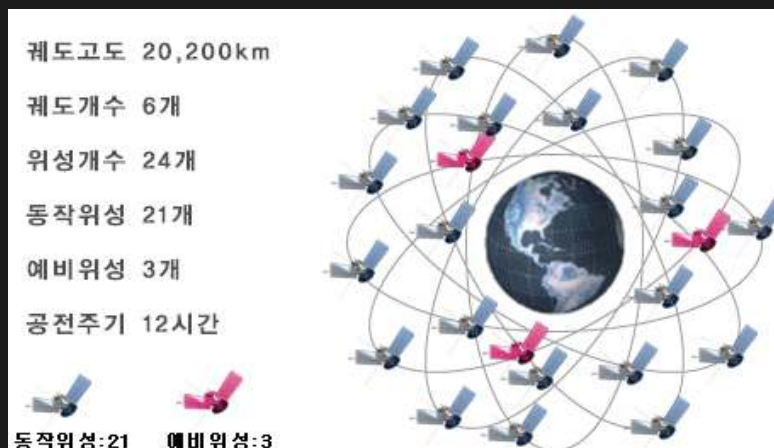
GPS 수신기는 세 개 이상의 GPS 위성으로부터 송신된 신호를 수신하여 위성과 수신기의 위치를 결정
실내, 건물 밀집 지역 등을 음영지역을 제외하면 매우 적은 비용으로 항법 수행 가능
기본적으로 RMS 10m 정도의 오차를 갖고 있으며, 고도의 경우 그 오차는 더 큼

INS (Inertial Navigation System / 관성항법장치)

출발 위치를 기준으로, 자이로스코프와 가속도계를 이용하여 각속도, 가속도를 측정하고, 이를 시간에 따라
적분하여 일정 시간이 지난 이후의 위치와 자세를 계산해냄.

자이로스코프와 가속도계는 미세한 오차를 포함하고 있으므로, 시간에 따라 적분 값은 실제값과 큰 오차를
갖게 됨.

이를 GPS, 지형대조항법 등을 통해 일정 시간마다 보정해주는 것으로 오차를 줄일 수 있다.



센서류

필터 - 측정치 vs 추정치

싸게는 수 만원대의 저가형 드론이 가능하게 된 이유는, 전자 공학 및 재료 공학의 발달로 인해 구성 요소들의 단가가 많이 낮아졌기 때문.

그 외에 중요한 요소는 바로 **필터**. (대표적으로, 칼만 필터)

개념적으로, 센서 등을 통해 측정한 측정값 과 모델링을 통해 추정한 추정값을 이용하여, 좀 더 실제에 가까운 값을 계산하는 것을 목적으로 하는 것.

(2) Update estimate with measurement z_k

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-)$$

if $H = 1$

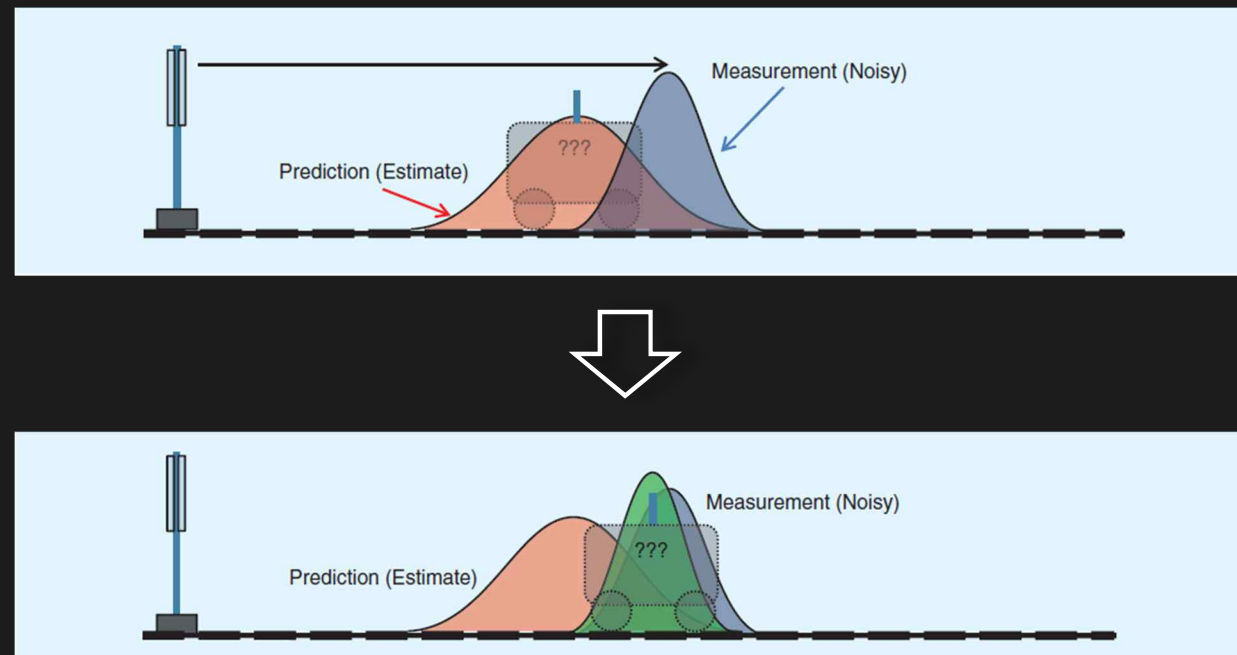
$$\hat{x}_k = K_k z_k + (I - K_k) \hat{x}_k^-$$

모델로부터 계산된 값 (red arrow pointing to \hat{x}_k^-)

수정된 값 (blue arrow pointing to \hat{x}_k)

센서로부터 측정된 값 (blue arrow pointing to z_k)

Kalman Gain (purple arrow pointing to K_k)



센서류

필터 – 센서의 융합!

필터의 강력한 또다른 기능은 바로 센서의 융합.

INS 또는 IMU는 모두 이 필터의 융합 기능을 토대로 구현된 것이라 할 수 있음

자이로스코프 (각속도 측정 센서) + 가속도센서 → 자세 측정??

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi \tan\theta & \cos\phi \tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \frac{\sin\phi}{\cos\theta} & \frac{\cos\phi}{\cos\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix} = g \begin{bmatrix} \sin\theta \\ -\cos\theta \sin\phi \\ -\cos\theta \cos\phi \end{bmatrix}$$

<자이로 스코프와 가속도계의 측정값을 이용한 자세 유도식>

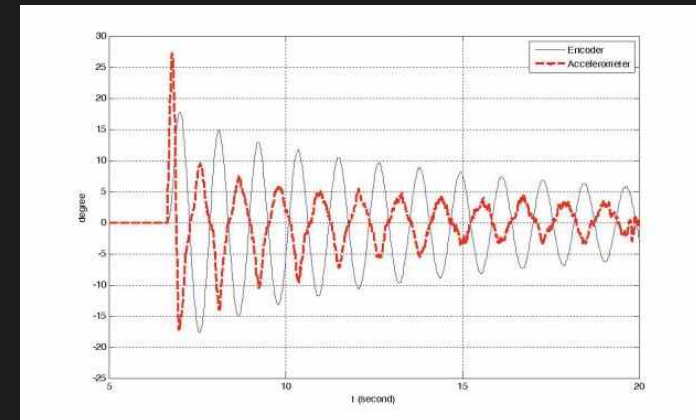
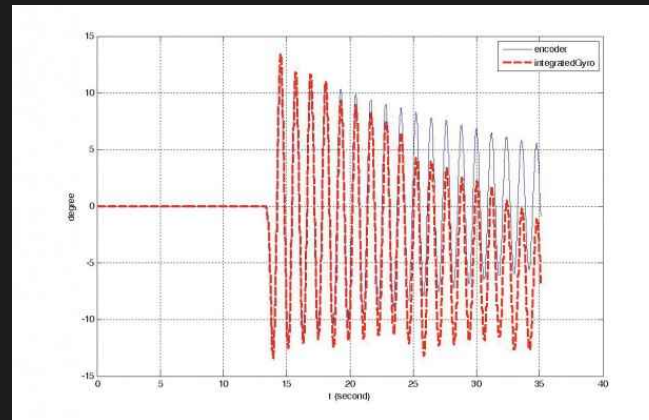
자이로 스코프, 가속도계 각각을 단독으로 이용하여 자세를 유도해낼 수는 있음. 하지만..

자이로 스코프의 경우, 자세 변화를 적분해 나가는 와중에 오차가 누적되어, 발산하는 결과를 얻음

가속도계를 사용할 경우, 일정 값 내에 수렴하나, 중력 이외의 다른 힘을 고려하지 않아 정확치 않음
이라는 각각의 문제를 가짐.

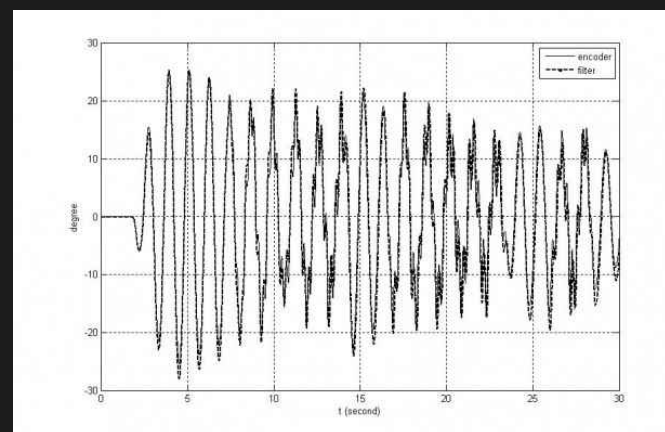
센서류

필터 - 센서의 융합!



<자이로 스코프와 가속도계의 측정값을 이용한 자세 계산 결과>

위의 그래프에서 볼 수 있듯, 한 가지 센서만을 사용할 경우 실제 값과 차이를 보이는 것을 알 수 있음.
여기서 두 센서의 장점을 합치는 융합을 가능케 하는 것이 바로 필터! (아래의 그래프가 융합 결과)



센서류

카메라 / 짐벌

실제로 멀티로터를 이용한 임무의 대부분을 사용하는 것이, 카메라를 이용한 영상 촬영 분야.
민간/군용을 막론하고 영상 촬영에 다수 사용되고 있음

Gimbal (김발, 짐벌)

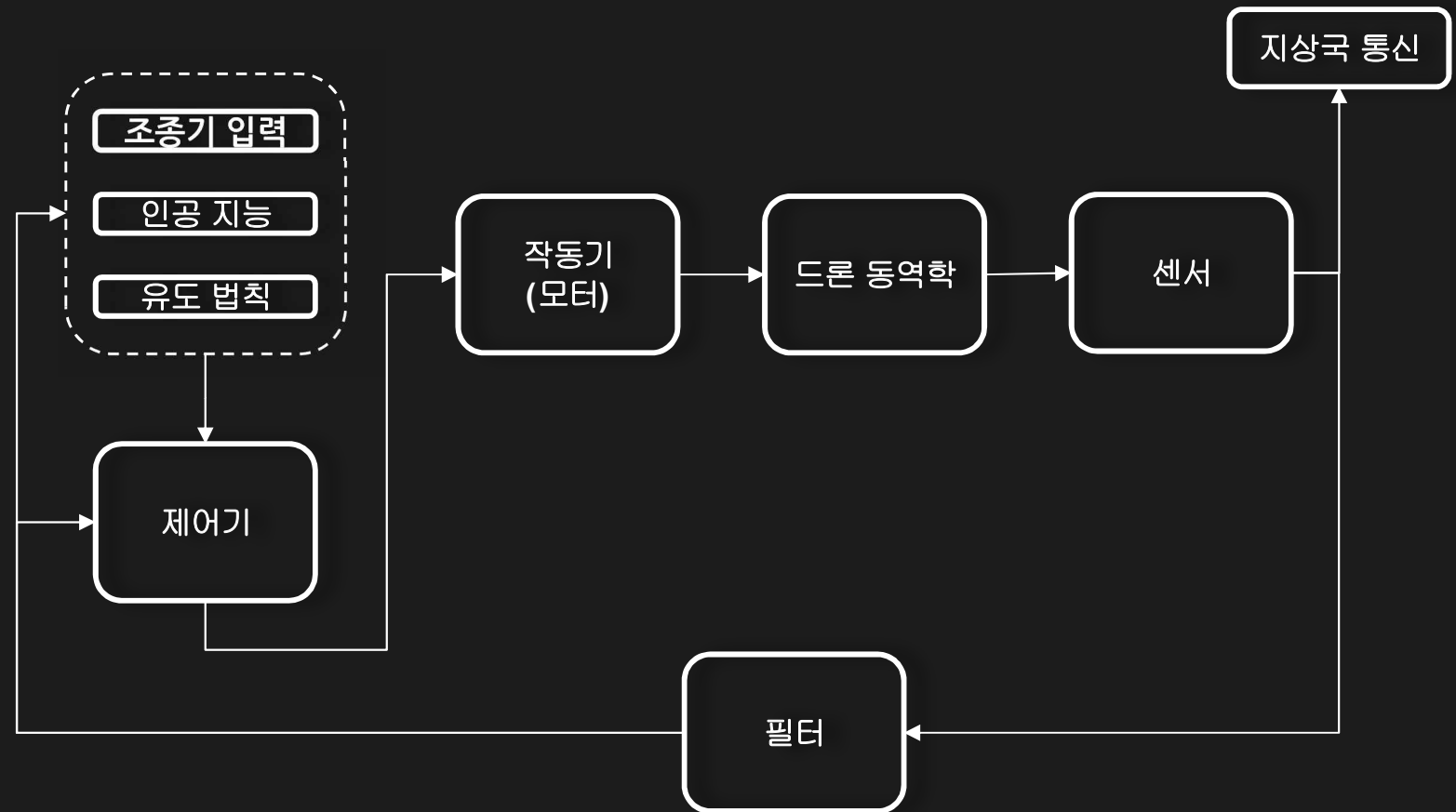
내부에 장착된 Inertial measurement unit을 이용하여, 기체의 기동이나 흔들림에게서 카메라 등의 임무 장비를 분리 시키는 장치. 뿐만 아니라, 원하는 방향을 바라볼 수 있도록 조절할 수도 있음.



드론 제어 시스템

실제로 드론은 어떻게 제어될까? - 요약

실제로 멀티로터를 제어하기 위한 Flow chart



감사합니다.