

PowerPoint

파워포인트 템플릿 나눔

15.08.20

Contents



1. QuadCopter Modeling
2. Flow Chart
3. 첨부

Contents



QuadCopter Modeling

병진운동 모델링



$$P = [x \ y \ z]^T \quad V = [u \ v \ w]^T$$

$$\dot{P} = R_B^E \cdot V \quad (\text{관성좌표계에서 기체 좌표계의 물체속도를 표시})$$

$$\ddot{P} = \dot{R}_B^E \cdot V + R_B^E \cdot \dot{V} \quad (\dot{R}_B^E V = W \times (R_B \cdot V))$$

$$= W \times R_B^E V + R_B^E \cdot \dot{V} = R_B^E (\dot{V} + W \times V)$$

$$F = m a \quad F = \frac{dV}{dt} + W \times V \quad \text{벡터 미분 방정식}$$

$$= W \times R_B^E V + R_B^E \cdot \dot{V} = R_B^E (\dot{V} + W \times V)$$

$$F = m a \quad F = \frac{dV}{dt} + W \times V \quad \text{벡터 미분 방정식}$$

$$m \dot{V} + W \times (m V) = F + F_2 + F_{\text{disturbance}} + F_{\text{drag}} \quad (4)$$

관성좌표계에서 기체좌표계의
기체에 가해지는 힘

외란 항력
돌다 이므로 가감

$$\Rightarrow m \dot{V} + W \times (m V) = F + F_2$$

병진운동 모델링



$F_a = m a = m \cdot R_E^B \cdot \ddot{a}_0$ ② $\dot{p} = R_B^E (\dot{V} + W \times V)$ ①
 $R_E^B \dot{p} = (\dot{V} + W \times V)$ ①
 $F = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \end{bmatrix}$ ③
 1, 2, 3. 을 ④에 넣는다
 $m \cdot R_E^B \cdot \ddot{p} = m \cdot R_E^B \cdot \ddot{a}_0 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \end{bmatrix}$
 $\ddot{p} = \ddot{a}_0 + \frac{1}{m} \cdot R_B^E \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \end{bmatrix}$

$$\ddot{x} = (\sin \psi \sin \phi + \cos \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m}$$

$$\ddot{y} = (-\cos \psi \sin \phi + \sin \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m}$$

$$\ddot{z} = -g + (\sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m}$$

회전운동 모델링



$$\eta = [\phi \ \theta \ \psi]^T \quad \omega = [p \ q \ r]^T$$

$$\dot{\eta} = C_B^E \cdot \omega \quad (\text{관성 좌표계에서 기체좌표계의 물체의 각속도})$$

$$\omega = C_E^B \cdot \dot{\eta} \quad (1)$$

$$\dot{\omega} = \dot{C}_E^B \dot{\eta} + C_E^B \ddot{\eta} \quad (2)$$

$$M = I \omega \quad M = I \frac{d\omega}{dt} + \vec{\omega} \times (I \omega)$$

$$\omega = C_E^B \cdot \dot{\eta} \quad (1)$$

$$\dot{\omega} = \dot{C}_E^B \dot{\eta} + C_E^B \ddot{\eta} \quad (2)$$

$$M = I \omega \quad M = I \frac{d\omega}{dt} + \vec{\omega} \times (I \omega)$$

$$I \cdot \dot{\omega} + \omega \times (I \omega) = M - M_2 \quad (3)$$

$$M_2 = \omega \times I_R \omega \quad I_R: \text{코터의 관성 모멘트}$$

$$M = \begin{bmatrix} l(F_4 - F_2) \\ l(F_3 - F_1) \\ I_1 - I_2 + I_3 - I_4 \end{bmatrix}$$

회전운동 모델링



$$M = \begin{bmatrix} l(F_4 - F_2) \\ l(F_3 - F_1) \\ l_1 - l_2 + l_3 - l_4 \end{bmatrix}$$

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

$$I \cdot (\dot{C}_E^B \dot{\eta} + C_E^B \ddot{\eta}) + C_E^B \dot{\eta} \times (I \cdot C_E^B \dot{\eta}) = \begin{bmatrix} l(F_4 - F_2) \\ l(F_3 - F_1) \\ l_1 - l_2 + l_3 - l_4 \end{bmatrix} - C_E^B \dot{\eta} \times I_R \Omega_R$$

$$I \cdot C_E^B \ddot{\eta} = \begin{bmatrix} l(F_4 - F_2) \\ l(F_3 - F_1) \\ l_1 - l_2 + l_3 - l_4 \end{bmatrix} - C_E^B \dot{\eta} \times I_R \Omega_R - I \cdot \dot{C}_E^B \dot{\eta} - C_E^B \dot{\eta} \times (I \cdot \dot{C}_E^B \dot{\eta})$$

$$I \cdot C_E^B \ddot{\eta} = \begin{bmatrix} l(F_4 - F_2) \\ l(F_3 - F_1) \\ l_1 - l_2 + l_3 - l_4 \end{bmatrix} - C_E^B \dot{\eta} \times I_R \Omega_R - I \cdot \dot{C}_E^B \dot{\eta} - C_E^B \dot{\eta} \times (I \cdot \dot{C}_E^B \dot{\eta})$$

$$\ddot{\eta} = I^{-1} \begin{bmatrix} l(F_4 - F_2) \\ l(F_3 - F_1) \\ l_1 - l_2 + l_3 - l_4 \end{bmatrix} - I^{-1} \dot{\eta} \times (I \cdot \dot{\eta})$$

$$\ddot{\phi} = (q r (I_{YY} - I_{ZZ}) - J_{TP} q \Omega + U_2) \frac{1}{I_{XX}}$$

$$\ddot{\theta} = (p r (I_{ZZ} - I_{XX}) + J_{TP} p \Omega + U_3) \frac{1}{I_{YY}}$$

$$\ddot{\psi} = (p q (I_{XX} - I_{YY}) + U_4) \frac{1}{I_{ZZ}}$$

관성 좌표계에서
기체 좌표계상의 기체운동 표현

$$\ddot{x} = (\sin \psi \sin \phi + \cos \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m}$$

$$\ddot{y} = (-\cos \psi \sin \phi + \sin \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m}$$

$$\ddot{z} = -g + (\sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m}$$

$$\ddot{\phi} = (q r (I_{YY} - I_{ZZ}) - J_{TP} q \Omega + U_2) \frac{1}{I_{XX}}$$

$$\ddot{\theta} = (p r (I_{ZZ} - I_{XX}) + J_{TP} p \Omega + U_3) \frac{1}{I_{YY}}$$

$$\ddot{\psi} = (p q (I_{XX} - I_{YY}) + U_4) \frac{1}{I_{ZZ}}$$

I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} 가 다 같음
로터에 관한 것이기 때문

기체 좌표계에서
관성 좌표계상의 기체운동 표현

$$\begin{bmatrix} \ddot{p}_x \\ \ddot{p}_y \\ \ddot{p}_z \end{bmatrix}_{\mathcal{F}_b} = \begin{bmatrix} \dot{\psi} \dot{p}_y - \dot{\theta} \dot{p}_z \\ \dot{\phi} \dot{p}_z - \dot{\psi} \dot{p}_x \\ \dot{\theta} \dot{p}_x - \dot{\phi} \dot{p}_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -g s \theta \\ g c \theta s \phi \\ g c \theta c \phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{-f_z}{M} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{\phi} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix}_{\mathcal{F}_b} = \begin{bmatrix} \frac{J_y - J_z}{J_x} \dot{\theta} \dot{\psi} \\ \frac{J_z - J_x}{J_y} \dot{\phi} \dot{\psi} \\ \frac{J_x - J_y}{J_z} \dot{\phi} \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{J_x} \tau_\phi \\ \frac{1}{J_y} \tau_\theta \\ \frac{1}{J_z} \tau_\psi \end{bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \dot{p}_n \\ \dot{p}_e \\ \dot{h} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c \theta c \psi & s \phi s \theta c \psi - c \phi s \psi & c \phi s \theta c \psi + s \phi s \psi \\ c \theta s \psi & s \phi s \theta s \psi + c \phi c \psi & c \phi s \theta s \psi - s \phi c \psi \\ -s \theta & s \phi c \theta & c \phi c \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r v - q w \\ p w - r u \\ q u - p v \end{pmatrix} + \frac{1}{m} \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \frac{\sin \phi}{\cos \theta} & \frac{\cos \phi}{\cos \theta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix}$$

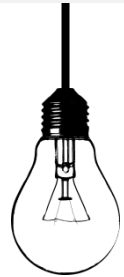
$$\begin{pmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{J_y - J_z}{J_x} q r \\ \frac{J_z - J_x}{J_y} p r \\ \frac{J_x - J_y}{J_z} p q \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{J_x} \tau_\phi \\ \frac{1}{J_y} \tau_\theta \\ \frac{1}{J_z} \tau_\psi \end{pmatrix}.$$

Contents



Flow Chart

Input

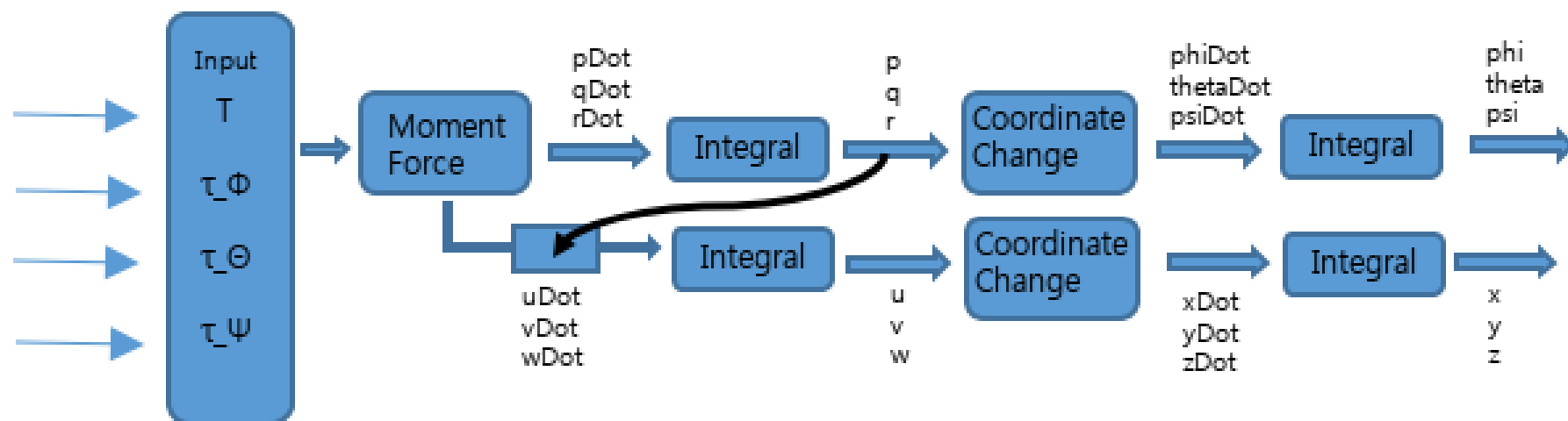


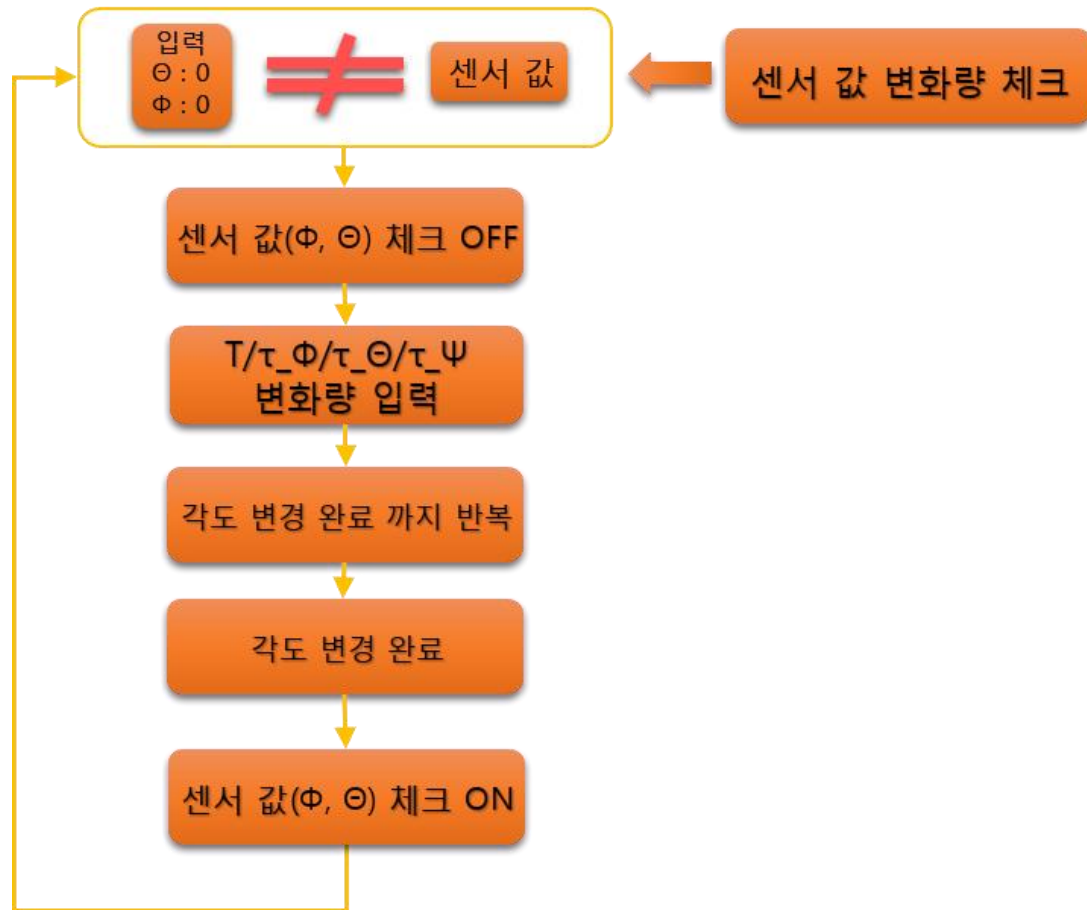
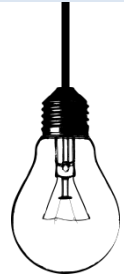
$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b & b & b & b \\ 0 & lb & 0 & -lb \\ lb & 0 & -lb & 0 \\ -d & d & -d & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Omega_1^2 \\ \Omega_2^2 \\ \Omega_3^2 \\ \Omega_4^2 \end{bmatrix}$$

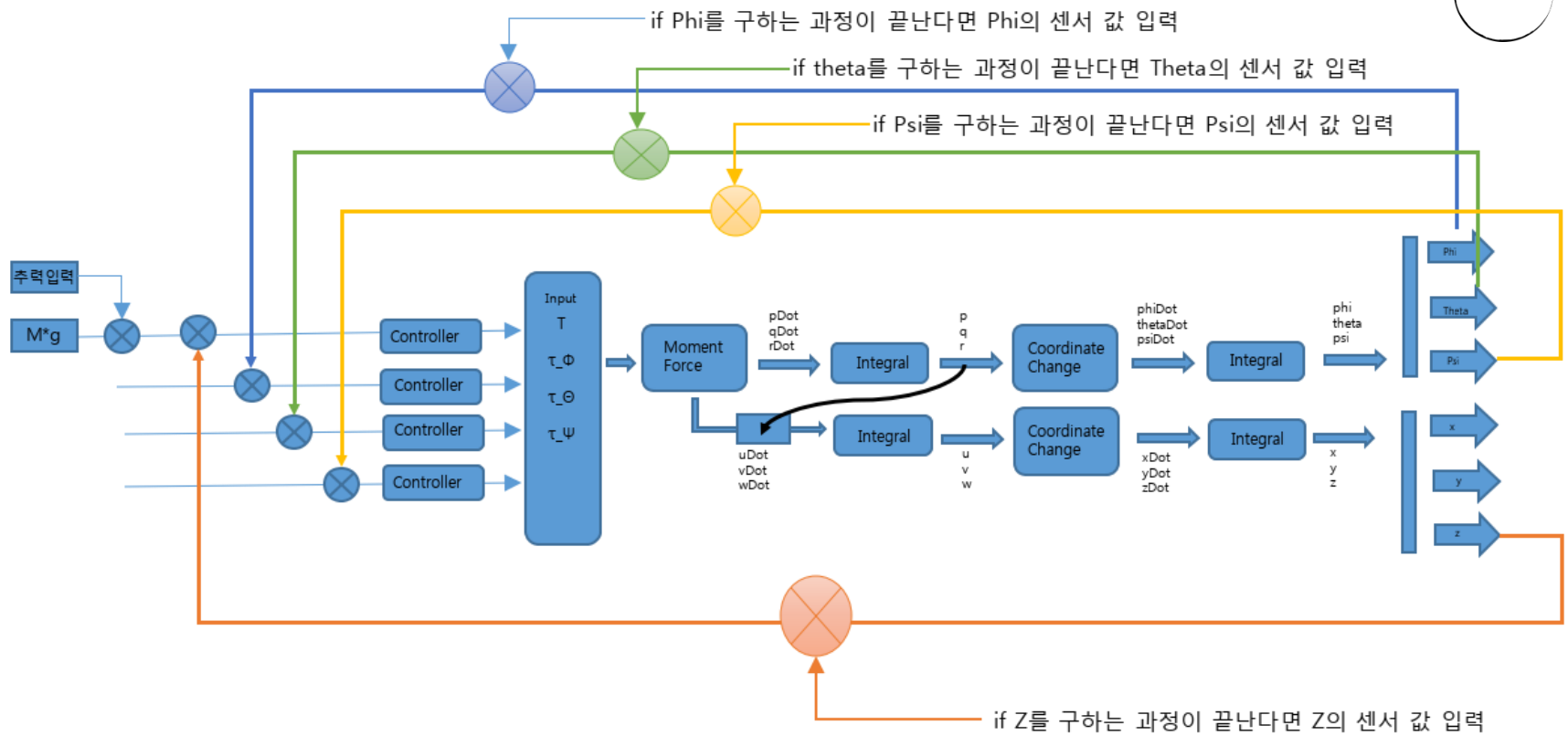
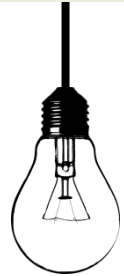


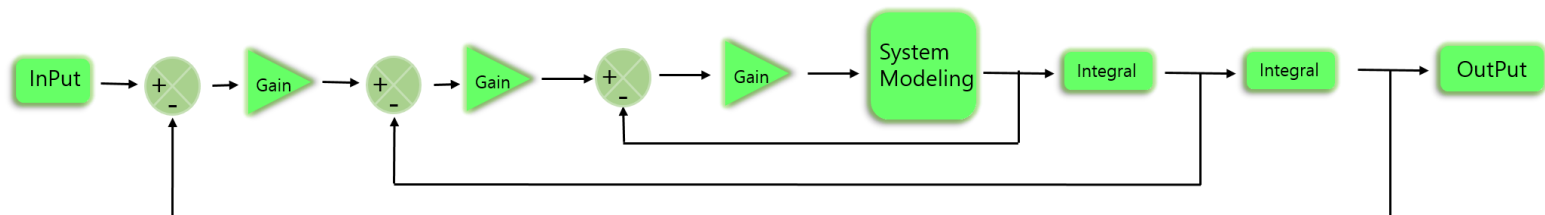
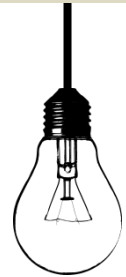
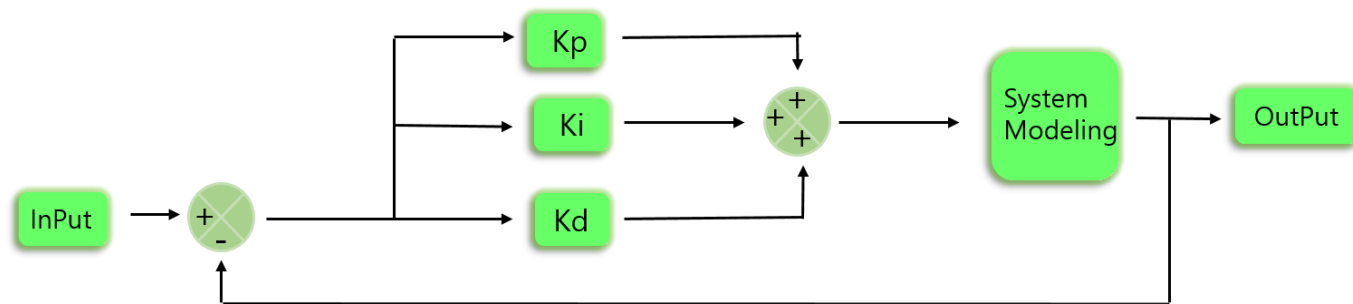
$$\begin{bmatrix} \Omega_1^2 \\ \Omega_2^2 \\ \Omega_3^2 \\ \Omega_4^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{4} \frac{1}{b} & 0 & \frac{1}{2} \frac{1}{lb} & -\frac{1}{4} \frac{1}{d} \\ \frac{1}{4} \frac{1}{b} & \frac{1}{2} \frac{1}{lb} & 0 & \frac{1}{4} \frac{1}{d} \\ \frac{1}{4} \frac{1}{b} & 0 & -\frac{1}{2} \frac{1}{lb} & -\frac{1}{4} \frac{1}{d} \\ \frac{1}{4} \frac{1}{b} & -\frac{1}{2} \frac{1}{lb} & 0 & \frac{1}{4} \frac{1}{d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix}$$

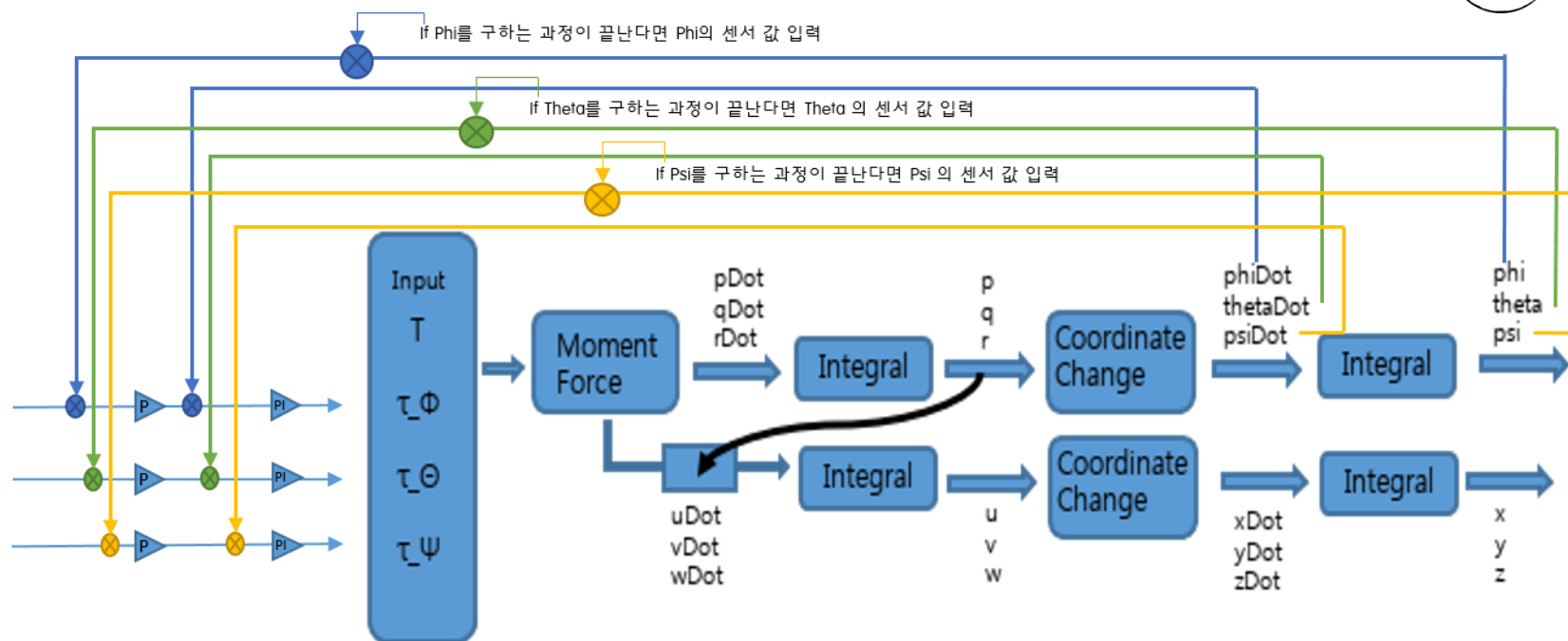
Thrust Roll Pitch Yaw











Contents



PWM and Motor

모터 모델링



$$V = R \cdot i + L \frac{di(t)}{dt} + \varepsilon$$

전기적 운동

$$\varepsilon_a = K_E \cdot \omega$$

$$\tau = K_T \cdot i$$

$$\tau = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + \tau_L = J \frac{d\omega}{dt} + C\omega + \tau_L$$

회전 운동

$$T_e = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m + T_L$$

$$T_e = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m + T_L$$

$$J = J_m + J_L$$

T_e : 모터에서 발생하는 토크[Nm]

J : 전체 시스템의 관성 모멘트[kg-m²]

J_m : 회전자에 관성 모멘트[kg-m²]

J_L : 부하의 관성 모멘트[kg-m²]

B : 점성마찰계수[Nm/(rad/s)]

$$v(s) = (R_a + sL_a)i(s) + e(s)$$

$$= (R_a + sL_a)i(s) + k_e \phi_f \omega_m(s)$$

$$T_e(s) = (Js + B)\omega_m(s) + T_L = k_T \phi_f i(s)$$

$$\frac{\omega_m(s)}{v(s)} = \frac{k_T}{(L_a s + R_a)(Js + B) + k_T k_e}$$

보통 모터 내부 인덕터스는 아주 작다고 보기 때문에 $L_m \approx 0$ 으로 두고 모터의 전달함수를 단순화 하면 다음과 같다.

$$\frac{\omega_m(s)}{v(s)} \approx \frac{k_T}{R_a(Js + B) + k_T k_e}$$

모터 모델링



$$V = R \cdot i + L \frac{di(t)}{dt} + \varepsilon$$

전기적 운동

$$\varepsilon_a = K_E \cdot \omega$$

$$\tau = K_T \cdot i$$

$$\tau = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + \tau_L = J \frac{d\omega}{dt} + C\omega + \tau_L$$

회전 운동

$$T_e = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m + T_L$$

$$T_e = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m + T_L$$

$$J = J_m + J_L$$

T_e : 모터에서 발생하는 토크[Nm]

J : 전체 시스템의 관성 모멘트[kg-m²]

J_m : 회전자의 관성 모멘트[kg-m²]

J_L : 부하의 관성 모멘트[kg-m²]

B : 점성마찰계수[Nm/(rad/s)]

$$v(s) = (R_a + sL_a)i(s) + e(s)$$

$$= (R_a + sL_a)i(s) + k_e \phi_f \omega_m(s)$$

$$T_e(s) = (Js + B)\omega_m(s) + T_L = k_T \phi_f i(s)$$

$$\frac{\omega_m(s)}{v(s)} = \frac{k_T}{(L_a s + R_a)(Js + B) + k_T k_e}$$

보통 모터 내부 인덕터스는 아주 작다고 보기 때문에 $L_m \approx 0$ 으로 두고 모터의 전달함수를 단순화 하면 다음과 같다.

$$\frac{\omega_m(s)}{v(s)} \approx \frac{k_T}{R_a(Js + B) + k_T k_e}$$

모터 모델링



$$V = R \cdot i + L \frac{di(t)}{dt} + \varepsilon$$

전기적 운동

$$\varepsilon_a = K_E \cdot \omega$$

$$\tau = K_T \cdot i$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = \tau - \tau_L$$

회전 운동

$$R \cdot i = V - L \cdot \frac{di}{dt} - \varepsilon \quad (\varepsilon = K_E \cdot \omega)$$

$$i = \frac{V - L \cdot \frac{di}{dt} - K_E \cdot \omega}{R} \quad (i \text{는 변하지 않는다 가정})$$

$$i = \frac{V - K_E \cdot \omega}{R} \quad (\text{전류와 전압과 각속도 관계})$$

$$\tau - \tau_L = J \frac{d\omega}{dt}$$

$$K_T \cdot i - d \cdot \omega^2 = J \frac{d\omega}{dt}$$

$$\frac{K_T}{R} (V - K_E \cdot \omega) - d \cdot \omega^2 = J \frac{d\omega}{dt}$$

$$V = K_E \cdot \omega \quad (\text{무부하일 때}) \quad K_E = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot I \cdot K_V}$$

$$V = K_E \cdot \omega + \frac{R}{K_T} \cdot d \cdot \omega^2 \quad (\text{부하가 있을 경우})$$

$$K_E = K_T$$

∴ 쿼드콥터의 각속도로 전압을 구하기 위함

모터의 저항
모터 상수
모터 역기전력상수
모터 토크상수

Rmot 모터 스펙을 통해 정해짐
Kvmot 모터 스펙을 통해 정해짐
Kemot $\omega \cdot 60 / (2 \cdot \pi \cdot K_V)$
Ktmot $K_{emot} = K_{tmot}$



앞으로 일정

1. 시소 테스트 및 발생 에러 보정

2. 자율 주행

3. 연산 최적화 (쿼터니온, 어셈코딩, PWM 정밀제어)

4. 외란제어 (ex 바람, 큰 충격 등등...)

5. 모터 모델링

감사합니다!

