

## 3次元6自由度シミュレーションについて

機械知能システム学専攻 田中研究室  
2332108 山本芽生

### 1. 3次元6自由度方程式

$$\dot{u}(t) = -q(t)w(t) + r(t)v(t) + (F_t(t) - mg \sin \theta(t) + L \sin \alpha(t) - D \cos \alpha(t) \cos \beta(t))/m \quad (1)$$

$$\dot{v}(t) = -r(t)u(t) + p(t)w(t) + (mg \sin \phi(t) \cos \theta(t) - D \sin \beta(t))/m \quad (2)$$

$$\dot{w}(t) = -p(t)v(t) + q(t)u(t) + (mg \cos \phi(t) \cos \theta(t) - L \cos \alpha(t) - D \sin \alpha(t) \cos \beta(t))/m \quad (3)$$

$$\dot{p}(t) = \{(I_{yy} - I_{zz})q(t)r(t) + M_x(t)\}/I_{xx} \quad (4)$$

$$\dot{q}(t) = \{(I_{zz} - I_{xx})r(t)p(t) + M_y(t)\}/I_{yy} \quad (5)$$

$$\dot{r}(t) = \{(I_{xx} - I_{yy})p(t)q(t) + M_z(t)\}/I_{zz} \quad (6)$$

$$\dot{\phi}(t) = p(t) + q(t) \sin \phi(t) \tan \theta(t) + r(t) \cos \phi(t) \tan \theta(t) \quad (7)$$

$$\dot{\theta}(t) = q(t) \cos \phi(t) - r(t) \sin \phi(t) \quad (8)$$

$$\dot{\psi}(t) = q(t) \sin \phi(t) / \cos \theta(t) + r(t) \cos \phi(t) / \cos \theta(t) \quad (9)$$

$$\dot{x}(t) = u(t) \cos \psi(t) \cos \theta(t) + v(t) (\cos \psi(t) \sin \theta(t) \sin \phi(t) - \sin \psi(t) \cos \phi(t)) \quad (10)$$

$$+ w(t) (\cos \psi(t) \sin \theta(t) \cos \phi(t) + \sin \psi(t) \sin \phi(t)) \quad (11)$$

$$\dot{y}(t) = u(t) \sin \psi(t) \cos \theta(t) + v(t) (\sin \psi(t) \sin \theta(t) \sin \phi(t) + \cos \psi(t) \cos \phi(t)) \quad (12)$$

$$+ w(t) (\sin \psi(t) \sin \theta(t) \cos \phi(t) - \cos \psi(t) \sin \phi(t)) \quad (13)$$

$$\dot{z}(t) = u(t) \sin \theta(t) - v(t) \cos \theta(t) \sin \phi(t) - w(t) \cos \theta(t) \cos \phi(t) \quad (14)$$

### 2. 制御器

現在はエルロン、エレベータ、スロットルの制御器としてPD制御を入れている。それぞれ、自分の制御器を入れ直してシミュレーションを行うことができる。

#### 2.1 エルロン制御

$$\phi_r(t) = \tan^{-1} \left( \frac{V_g(t)}{ag} \left( -k(y(t) + a\chi(t)) - V_g(t) \sin \chi(t) \right) \right) \quad (15)$$

$$\delta_a(t) = -f_p(\phi(t) - \phi_r(t)) - f_d(\dot{\phi}(t) - \dot{\phi}_r(t)) \quad (16)$$

#### 2.2 エレベータ制御

$$\theta_r = -\frac{1}{a} \left\{ \frac{1}{b} (V_g(t) \sin \gamma(t) + a\dot{\gamma}(t)) + z(t) \right\} + \alpha(t) \quad (17)$$

$$\delta_e(t) = -f_p(\theta(t) - \theta_r(t)) - f_d(\dot{\theta}(t) - \dot{\theta}_r(t)) \quad (18)$$

#### 2.3 スロットル制御

$$F_t(t) = -f_p(V_a(t) - V_r) - f_d\dot{V}_a(t) + F_0 \quad (19)$$

但し,  $V_r = 12[\text{m/s}], F_{t0} = 3.1701[\text{N}]$

### 3. シミュレーションの注意事項

現在設定している初期値では、縦横速度全て目標値に収束している。しかし、 $x, y, z$  の初期値を変えると、目標値に収束せず、少しずつ偏差が大きくなる現象がみられる。これは、 $x, y, z$  の初期値を変えるごとに、パラメータもその都度、適切にいじると解消される。しかし、初期値を頻繁に変えてシミュレーションしたい場合は、毎回、初期値に合わせてパラメータを調整するのは非効率であるため、その場合は、m ファイル 12 行目の「r\_kinzi」を 0 から 1 にすると良い。これにより、式 (9) 式がキネマティクスモデル式 (20) に置き換わり、この簡単化を入れると、初期値をいじっても問題なく収束する。

$$\dot{\psi}(t) = \frac{g \tan \phi(t)}{V_g(t) \cos \gamma(t)} \quad (20)$$

### 4. シミュレーションのダウンロード

<https://drive.google.com/drive/folders/12czxXjr1WsReR5lRYqih50zXXPE0hLCv?usp=sharing>