

# 入力状態安全性を考慮した制御バリア関数による 位置姿勢制御に関する研究

松本 浩輔・村尾 俊幸・河合 宏之（金沢工業大学）

## 1 はじめに

近年，移動体の制御においてシステムの安定性に加えシステムがとりうる状態に対する安全性も保証する手法が議論されている．文献 [1] では，入力状態安全性を考慮した制御バリア関数 [2] を用いた移動体の制御手法が提案されている．しかし，非線形計画問題を解く必要があり，解を計算するために多くの時間を要するため実時間でのロボットの制御に適用することは難しかった．そこで本稿では，二次計画法により解を求められる制御手法を提案する．

## 2 移動体の運動学モデル

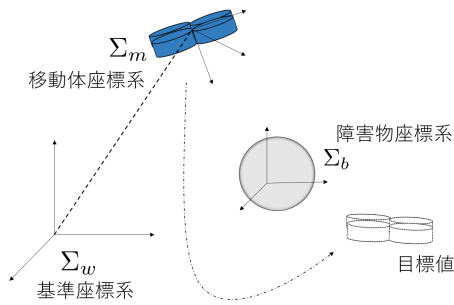


Fig. 1: 座標系

本研究の制御目的は，移動体が障害物を回避しながら与えられる目標地点に到達することである．Fig. 1 に示すような座標系において，位置  $p_{wm} \in \mathcal{R}^3$  と姿勢を表す回転行列  $R_{wm} \in \mathcal{R}^{3 \times 3}$  を要素に持つ同次表現を  $g_{wm} = (p_{wm}, R_{wm})$  とすると，文献 [1] より運動学モデルは

$$\dot{g}_m = g_m \hat{V}_m^b \quad (1)$$

と表される．ここで， $V_m^b$  はボディ速度を表している．また，移動体に対する目標値を  $g_d$  としたときの制御偏差

$$g_e = g_d^{-1} g_m \quad (2)$$

において，制御偏差ベクトルは  $e = \begin{bmatrix} p_e^T & r_e^T \end{bmatrix}^T$ ， $r_e = \frac{1}{2}(R_e - R_e^T)^\vee$  と表わされる． $e = 0$  のとき移動体の位置姿勢が目標値に一致することになる．また，式 (2) を時間微分し， $u_m = -\text{Ad}_{(g_e)} V_m^b$  と定義したときの制御偏差システムは次のようになる．

$$\dot{V}_e^b = -\text{Ad}_{(g_e^{-1})} u_m \quad (3)$$

なお，提案する制御手法ではこの速度入力に関する  $u_m$  について設計する．

## 3 入力状態安全性を考慮した制御バリア関数と制御リアプノフ関数を用いた二次計画法

式 (1) と  $u_m = -\text{Ad}_{(g_e)} V_m^b$  より，障害物回避のためのモデルを式 (4) に示す．

$$\dot{p}_m = f(p_m) u_m \quad (4)$$

ここで， $f(p_m) = -R_m \begin{bmatrix} R_e^T & -R_e^T \hat{p}_e \end{bmatrix}$  である．また，文献 [2] に基づいて示すことができる定理より，次の二次計画法を構築する．

$$\begin{bmatrix} u_m^* \\ \delta^* \end{bmatrix} = \underset{(u_m, \delta) \in \mathcal{R}^7}{\text{argmin}} \begin{bmatrix} u_m^T & \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Ad}_{(g_e^{-1})}^T Q \text{Ad}_{(g_e^{-1})} & 0 \\ 0 & q_\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_m \\ \delta \end{bmatrix} \quad (5a)$$

s.t.

$$-e^T u_m \leq \delta \quad (5b)$$

$$-(p_m - p_b)^T R_d \begin{bmatrix} I_3 & -\hat{p}_e \end{bmatrix} u_m - \varepsilon \left\| \begin{bmatrix} I_3 \\ \hat{p}_e \end{bmatrix} R_d^T (p_m - p_b) \right\|^2 \geq \kappa l_b^2 \quad (5c)$$

式 (5b)，式 (5c) はそれぞれ制御リアプノフ関数と入力状態安全性を考慮した制御バリア関数に基づくものとなる．本提案では二次計画法で問題を定式化しているために，非線形計画問題となっていた文献 [1] の手法と比較すると，計算時間の短縮が期待できる．

## 4 おわりに

本稿では，移動体が障害物回避を考慮しつつ目標地点に到達する制御入力の設計に関して，二次計画法で解を求められる制御則を提案した．今後は，実機により制御則の有用性を検証する．

## 参考文献

- [1] T. Murao, H. Kawai and M. Fujita, “Pose Control for Rigid Body Motion with an Input-to-state Safe Control Barrier Function,” *Proc. 8th IFAC Symposium on Mechatronic Systems and 11th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems*, pp. 638–643, 2019.
- [2] S. Kolathaya and A. D. Ames, “Input-to-State Safety with Control Barrier Functions,” *IEEE Control Syst. Letters*, Vol. 3, No. 1, pp. 108–113, 2019.