

速度境界条件を考慮した二輪移動ロボットの経路計画

首都大学東京大学院 機械システム工学域 M2 陳シン偉 (児島研究室)

1.はじめに

研究背景

- ▶ 少子高齢化などの社会課題を解決するため、自律移動可能な車椅子や台車などの実現が強く望まれている。
- ▶ 移動ロボットがスリップなどの危険な状態を回避したい場合には**速度, 加速度を滑らかにする**必要がある。



Fig.1 二輪移動ロボット Khepera IV

時間スプライン近似法^[1]:初期速度と最終速度の反映が難しい

研究目的

滑らかな速度変化を実現し, 初期速度と最終速度両方を指定できる**経路計画**を明らかにする。

2.二輪移動ロボットモデリング

車輪の中心を車両の位置を表す点として, x 軸に対する姿勢を θ とし, $p(t) = [x \ y \ \theta]^T$, 車両の進行方向の速度 v , および姿勢角速度 $\dot{\theta} = \omega$ を制御入力とする。以上を踏まえて幾何学方程式を導出すると次のように表される。

$$\frac{d}{dt}p(t) = B(t)u(t)$$

$$p(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ \theta(t) \end{bmatrix}, B(t) = \begin{bmatrix} \cos\theta(t) & 0 \\ \sin\theta(t) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, u(t) = \begin{bmatrix} v(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix}$$

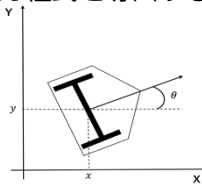


Fig.2 2 wheeled mobile robot

3.速度境界条件を考慮した時間スプライン近似

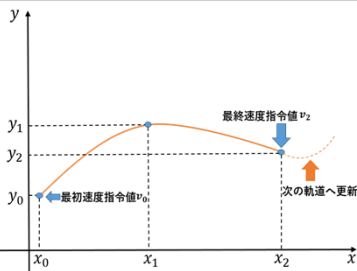


Fig.3 Time based spline approach with speed boundary condition

時間スプライン近似法を用いた経路計画に基づいて, 速度境界条件を導入した軌道計画を定め, 滑らかな軌道を生成する。

- ① 与えられた軌道から, 移動時刻までにおける移動距離を計算
- ② 移動距離に応じて, 与えられた軌道を分割し, 分割点を設定
- ③ 分割点と境界速度指令値を用いて, 与えられた軌道をスプライン近似する

曲線係数の計算

Fig.3のように, 初期速度指令値は v_0 , 最終速度指令値は v_2 , 各時刻 t_0, t_1, t_2 でロボットの位置は $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2)$ で設定される。軌道を次の計算により生成する。

$$x(t) = a_x t^4 + b_x t^3 + c_x t^2 + d_x t + e_x$$

$$y(t) = a_y t^4 + b_y t^3 + c_y t^2 + d_y t + e_y$$

$$\begin{bmatrix} t_0^4 & t_0^3 & t_0^2 & t_0 & 1 \\ t_1^4 & t_1^3 & t_1^2 & t_1 & 1 \\ t_2^4 & t_2^3 & t_2^2 & t_2 & 1 \\ 4t_0^3 & 3t_0^2 & 2t_0 & 1 & 0 \\ 4t_2^3 & 3t_2^2 & 2t_2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ b_x \\ c_x \\ d_x \\ e_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ v_0 \\ v_2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} a_x \\ b_x \\ c_x \\ d_x \\ e_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_0^4 & t_0^3 & t_0^2 & t_0 & 1 \\ t_1^4 & t_1^3 & t_1^2 & t_1 & 1 \\ t_2^4 & t_2^3 & t_2^2 & t_2 & 1 \\ 4t_0^3 & 3t_0^2 & 2t_0 & 1 & 0 \\ 4t_2^3 & 3t_2^2 & 2t_2 & 1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ v_0 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

($y(t)$ も同様)

指令値の導出

二輪移動ロボットに適用するため, 位置, 速度, 角速度の各指令値を定める。

$$\text{位置指令値} \begin{bmatrix} x_{cmd} \\ y_{cmd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x t^4 + b_x t^3 + c_x t^2 + d_x t + e_x \\ a_y t^4 + b_y t^3 + c_y t^2 + d_y t + e_y \end{bmatrix}$$

$$\text{速度指令値} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_{cmd} \\ \dot{y}_{cmd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4a_x t^3 + 3b_x t^2 + 2c_x t + d_x \\ 4a_y t^3 + 3b_y t^2 + 2c_y t + d_y \end{bmatrix}$$

$$\text{加速度指令値} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12a_x t^2 + 6b_x t + 2c_x \\ 12a_y t^2 + 6b_y t + 2c_y \end{bmatrix}$$

角速度指令値

$$\omega_{cmd} = \dot{\theta} = \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{v_y}{v_x}\right)^2} \right] \frac{d}{dt} \left(\frac{v_y}{v_x} \right) = \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{v_y}{v_x}\right)^2} \right] \frac{\dot{v}_y v_x - v_y \dot{v}_x}{v_x^2} = \frac{\dot{v}_y v_x - v_y \dot{v}_x}{v_x^2 + v_y^2}$$

$$\text{初期速度は0の時 } \omega_{cmd} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\dot{v}_y v_x - v_y \dot{v}_x}{v_x^2 + v_y^2} = \frac{3b_y c_x - 3b_x c_y}{2c_x^2 + 2c_y^2}$$

4.シミュレーションと実機検証

速度計画

時刻 t	目標速度
0 s	0 cm/s
10 s	0 cm/s

時刻 t	目標位置(x, y)
0 s	(11.5 cm, 38.5 cm)
5 s	(40 cm, 58 cm)
10 s	(76 cm, 58 cm)

結果

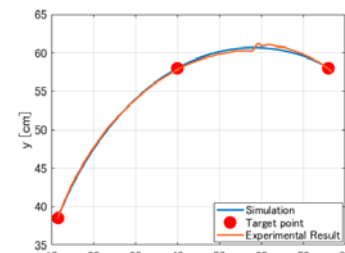


Fig.4 Position response

- グラフから分かるように, 軌道の境界速度条件を満たすような安定した追従が確認できた。

- ロボットの速度応答値にはノイズが含まれるが, 指令値通りに変化していることが分かる。

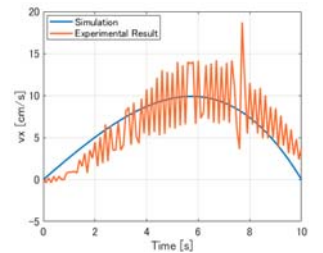


Fig.5 The velocity response of X-axis

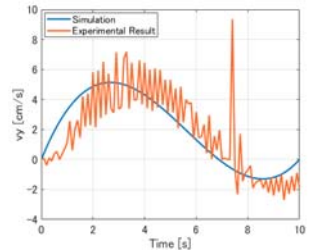


Fig.6 The velocity response of Y-axis

5.まとめと今後の予定

まとめ

時間スプライン近似法に基づいて, **境界速度**を自由に指定できる**軌道の生成法**を導いた。そして, ロボットの応答を実機により確認した。

今後の予定

- ▶ ノイズを除去するため, ローパスフィルタを導入し, **更新型の制御法**を考える
- ▶ 軌道の更新と障害物回避を両立できる手法を検討する

参考文献

- [1] 宮田, 村上, 大西: 時間スプライン近似法を用いた自律移動ロボットの軌道追従制御, IEEJ Trans. IA, Vol.123, No.7, 2003
- [2] 岩澤, 井美, 山田: 目標経路を考慮した二輪車両型移動ロボットの適応実用追従制御, 第57回自動制御連合講演会, 2014年11月10日-12日
- [3] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki, T. Noguchi: A stable tracking control method for an autonomous mobile robot, 13-18 May 1990