

# 自律走行ロボットの車線変更時の軌道の提案

2016sc006 福岡 諒

指導教員：陳幹

## 1 はじめに

将来自動運転は複雑なシチュエーション以外運転する必要がなくなってくる。そういった場合ドライバーには移動時間を有意義に時間を費やす事が出来、この点が最大のメリットであると考えられる。しかしその際に車の急な加速、減速をしてしまった場合不快に感じるだろう。なので市場に出るのであれば快適さも重視するべきである。この研究の目的としては緩やかな車線変更をすることである。追い越し動作は加速、減速幅が大きく揺れを感じやすい。なので加速度の変化率を表すジャークに着目した。そこで [1] を参照に緩やかな追い越し動作を目標とする。

## 2 モデリング

本研究で用いるパラメータを表 1 に示す。

表 1 物理パラメータ

移動ロボットの座標/姿勢角	$x, y/\theta$	$[m]/[rad]$
左/右の角速度	$\omega_l/\omega_r$	$[rad/s]$
車輪の半径	$r$	$[m]$
移動ロボットの幅	$2b$	$[m]$
ロボットの初速度	$V_0$	$[m/s]$
ロボットの速度	$V$	$[m/s]$
相手の速度	$V_1$	$[m/s]$
ロボットの最大加速度	$A$	$[m/s^2]$
車線変更時の $x, y$ 軸方向の目標距離	$D, W$	$[m]$
車線変更が完了するまでの時間	$T$	$[s]$
経過時間	$t$	$[s]$
正の定数	$S$	
入力電圧/電流	$V_a/I_a$	$[V]/[A]$
内部抵抗	$R$	$[\Omega]$
インダクタンス	$L$	$[SI]$
トルク定数	$k_t$	$[N \cdot m]$
逆起電圧定数	$k_b$	$[V/m/s]$
媒介変数	$s$	
質量	$m$	$[kg]$
車輪の角度	$\phi$	$[rad]$
比例, 積分, 微分ゲイン	$k_p, k_i, k_d$	
左右の入力電圧/電流	$V_r, V_l/I$	$[V]/[A]$
車体, タイヤの慣性モーメント	$I_c, I_w$	$[kg \cdot m^2]$
トルク定数	$k_t$	$[N \cdot m]$
左右のトルク	$\tau_l, \tau_r$	$[V_s/rad]$

対向二輪型ロボットの概略図を図 1 に示す。

図 1 の対向二輪型ロボットの中心座標を  $(x, y)$  とし重心と中心は同じ位置とする。またタイヤの直径を  $2r$ 、車体の角度を  $\theta$ 、左右のタイヤ間の距離を  $2b$  とする。

[2] より以下に対向二輪型ロボットの運動学を示す。

$$V = \frac{r}{2}(\omega_r + \omega_l) \quad (1)$$

$$\dot{\theta} = \frac{r}{2b}(\omega_r - \omega_l) \quad (2)$$

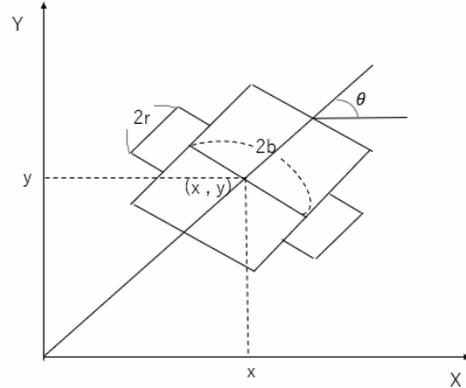


図 1 対向二輪型ロボットの概略図

運動学は式 (1),(2) より式 (3) のように定められる。

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} \cos(\theta) & \frac{r}{2} \cos(\theta) \\ \frac{r}{2} \sin(\theta) & \frac{r}{2} \sin(\theta) \\ \frac{r}{2b} & -\frac{r}{2b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} \quad (3)$$

[2] より入力モータの左右の電圧、出力は左右のトルクの時のシステムを以下に示す。

$$\begin{bmatrix} \tau_r \\ \tau_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-K_t k_b}{Ls+R} & 0 \\ 0 & \frac{-K_t k_b}{Ls+R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi}_r \\ \dot{\phi}_l \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{K_t}{Ls+R} & 0 \\ 0 & \frac{K_t}{Ls+R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_r \\ V_l \end{bmatrix} \quad (4)$$

[3] よりロボットの動力学を以下に示す。

$$\begin{bmatrix} \frac{mr^2}{4} + \frac{I_c r^2}{4b^2} + I_w & \frac{mr^2}{4} - \frac{I_c r^2}{4b^2} \\ \frac{mr^2}{4} - \frac{I_c r^2}{4b^2} & \frac{mr^2}{4} + \frac{I_c r^2}{4b^2} + I_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\phi}_r \\ \ddot{\phi}_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_r \\ \tau_l \end{bmatrix} \quad (5)$$

PID コントローラの伝達関数は以下ようになる。

$$C(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s = \frac{k_d s^2 + k_p s + k_i}{s} \quad (6)$$

## 3 車線変更時のモデル

[1] より車線変更時の最小ジャーク軌道関数が提案される。

$$x(t) = V_0 t + (V_0 T - D) \left( -10 \left( \frac{t}{T} \right)^3 + 15 \left( \frac{t}{T} \right)^4 - 6 \left( \frac{t}{T} \right)^5 \right) \quad (7)$$

$$y(t) = -W \left( -10 \left( \frac{t}{T} \right)^3 + 15 \left( \frac{t}{T} \right)^4 - 6 \left( \frac{t}{T} \right)^5 \right) \quad (8)$$

元の車線に戻る際は  $y(t)$  方向に変更があり、以下に示す。

$$y(t) = W + W \left( -10 \left( \frac{t}{T} \right)^3 + 15 \left( \frac{t}{T} \right)^4 - 6 \left( \frac{t}{T} \right)^5 \right) \quad (9)$$

ここで式 (4) の迂回の為の追加距離の係数  $(V_0 T - D)$  を  $S = V_0 T - D$  と表し

$$D = V_0 T - S \quad (10)$$

のように変形する。

[1] から提案される速度制約, 加速度制約, 目的関数から以下のような不等式制約問題が得られる. またこの  $W, A, V_0$  は自分で定める.

$$\begin{cases} \text{Minimize} & f(T, S) = \frac{10}{7T}(S^2 + W^2) - 2V_0S + V^2T \\ \text{Subject to} & g(T, S) = \frac{(S^2 + W^2)}{T^4} = \frac{3A^2}{100} \\ & 8V_0T \geq 15S \end{cases} \quad (11)$$

#### 4 低速の場合の $D, S, T$

$D, S, T$  の近似された値が論文 [1] で提案されたが低速 ( $V_0 < 5m/s$ ) の時使う事ができない. [4] を参考に fmincon 関数を用い  $0 \leq V_0 \leq 5$  の時の  $S, T$  の値を図 2, 図 3 に示す.

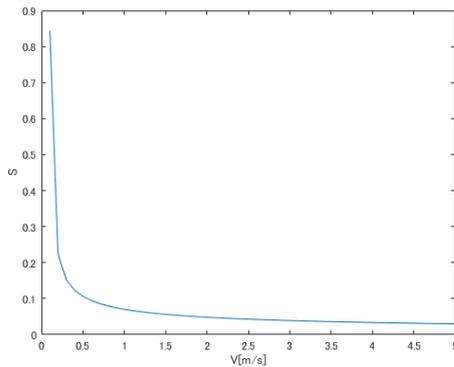


図 2  $0.1 \leq V_0 \leq 5$  の時の  $S$  の値

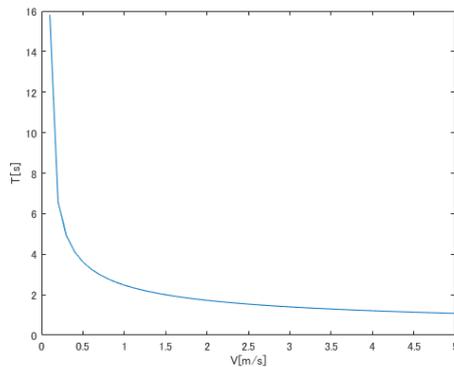


図 3  $0.1 \leq V_0 \leq 5$  の時の  $T$  の値

論文 [1] では  $S$  の値は  $V_0 \geq 5$  の時  $S$  を 0 に近似する事ができると記載されておりその条件から  $D$  を導出していった. 図 2 から  $S$  は  $5[m/s]$  に近づくにつれ  $S$  が 0 に収束していった. 今回セットアップとして初速度  $V_0 = 0.3[m/s], W = 0.2[m], A = 0.06[m/s^2]$  で行った. この時

$$S = 0.1524, \quad T = 4.9191, \quad D = 1.3233 \quad (12)$$

が得られた.

#### 5 追い越し軌道のシミュレーション

$t \geq 6$  間の時に追い越しを行っている. またパラメータは以下のように行う.  $L = 0.97, R = 0.56, M = 0.5, k_t = k_b = 0.062, k_p = 5, k_i = 3, k_d = 4, I_\omega = 4 \times 10^{-6}, I_c = 6.25 \times 10^{-4}$ , ギア比  $\frac{1}{3}, 2b = 0.1, S, T, D$  は  $V_0 = 0.3$  で行う為,  $S = 0.1524, T = 4.9191, D = 1.3233$  とした. 図 4 に X-Y 線図で追い越し軌道を走っている様子を示す.

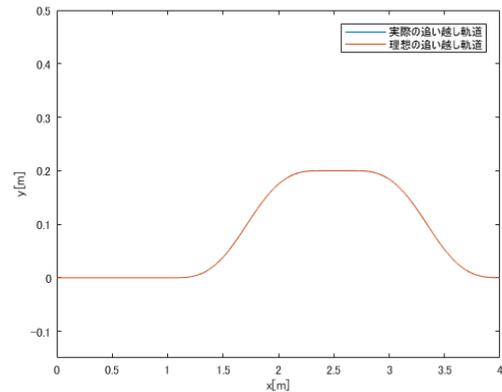


図 4 X-Y 座標上で表した追い越し軌道

#### 6 おわりに

論文 [1] で記載されていた車線変更の軌道を低速の場合 ( $V_0 < 5$ ) でも適応させ, 対向二輪ロボットでシミュレーションを行い, 実際に図 4 より緩やかな軌道を通る事ができた. しかし前方との車間距離や, 車との横の距離, またいつ元の車線に戻るかに関しては本研究では議論していない. 今後の課題として, これら三つを解決する事で実際に安全で緩やかな追い越し軌道の作成ができると思う.

#### 参考文献

- [1] Tzira Shamir, "How should an Autonomous Vehicle Overtake a Slower Moving Vehicle : Design and Analysis of an Optimal Trajectory", IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL, VOL.49, NO.4, PP.607-610, APRIL 2004
- [2] Boru Diriba, Wang zhongmin, "Design and Control for Differential Drive Mobile robot", International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), ISSN:2278-0181, vol.6 Issue 10, October - 2017 PP327-334
- [3] Y. Yamamoto, and X. Yun, "Coordinating Locomotion and Manipulation of a Mobile Manipulator", University of Pennsylvania Department of Computer and Information Science Technical Report No. MS-CIS-92-18, pp.1-13, 1992
- [4] MathWorks®, <https://jp.mathworks.com/help/optim/ug/fmincon.html>, 最終閲覧日 1月10日