

PID 制御を用いた車線変更軌道の検証

2018SC087 竹川 凱登

指導教員：陳 幹

1 はじめに

近年、自動車業界では自動運転の技術の開発が盛んに行われてきた。本来、自動車の運転はドライバーが周りの状況を確認し、そこから得た情報によってアクセルやブレーキ、ハンドルの操作を行う必要がある。そのため、操作を誤ってしまった場合、交通事故を引き起こす可能性がある。中でも車線変更による交通事故は複数車線にまたがって発生することが多く、重大な交通障害が発生しやすくなっている。運転や道路交通の安全性を向上させるためには、車線変更の動作について研究することが必要である。

本研究では車線変更の自動化を目指す。具体的には、乗り心地を考慮した目標軌道を用意し、その軌道に対し PID 制御による車線変更を行い、軌道について検証を行う。

2 車両モデル

本研究で用いるパラメータを表 1 に示す。

表 1 パラメータ

車両の座標	P_x, P_y	[m]
車両の姿勢角	θ	[rad]
車両の姿勢角の角速度	$\dot{\theta}$	[rad/s]
前後の車輪の距離	L	[m]
車両の初速度	V_0	[m/s]
車両の速度	V	[m/s]
車両の最大加速度	A	[m/s ²]
車線変更時の x,y 軸方向の目標距離	D, W	[m]
車線変更にかかる時間	T	[s]
経過時刻	t	[s]
ハンドル角	ϕ	[rad]
ハンドル角の角速度	$\dot{\phi}$	[rad/s]
比例, 積分, 微分ゲイン	K_p, K_i, K_d	
目標軌道の接線の角度	θ_d	[rad]
目標軌道の接線の角速度	$\dot{\theta}_d$	[rad/s]

本研究で用いる車両のモデルは参考文献 [1] のものを用いた。以下にその概要を示す。図 1 は車両モデルを表している。

車両の位置を算出するために、車両の速度と車体の角度の関係を数式で表す。平面上の x 軸と y 軸についての速度 $\dot{x}[m/s]$ と $\dot{y}[m/s]$ は、それぞれ

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V \cos \theta \\ \dot{y} &= V \sin \theta \end{aligned} \quad (1)$$

と表すことが出来る。また、車両の角速度 $\dot{\theta}$ は

$$\dot{\theta} = \frac{V}{L} \tan \phi \quad (2)$$

と表すことが出来る。

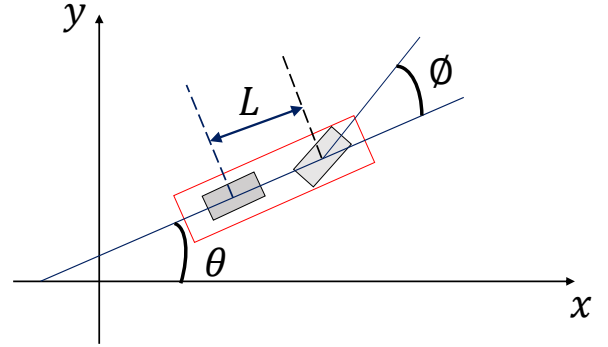


図 1 車両モデル

3 車線変更のモデル

車線変更を行う際、横方向の加減速があるため車両の揺れを感じやすい。そこで、乗り心地に大きく関わるジャークに注目し、ジャークが小さくなるような車線変更時の軌道を考える。ジャークとは、加速度の変化率を表し、ジャークの大きさが乗り心地に大きくかかわってくる。

本研究では論文 [2] で提案されている車線変更時のジャークの最小軌道関数を用いる。軌道関数は、それぞれ

$$\begin{aligned} x(t) &= V_0 t + (V_0 T - D) \left(-10 \left(\frac{t}{T} \right)^3 + 15 \left(\frac{t}{T} \right)^4 - 6 \left(\frac{t}{T} \right)^5 \right) \\ y(t) &= W + W \left(-10 \left(\frac{t}{T} \right)^3 + 15 \left(\frac{t}{T} \right)^4 - 6 \left(\frac{t}{T} \right)^5 \right) \end{aligned} \quad (3)$$

と表される。論文 [2] で提案される目標軌道、加速度制約、速度制約から $S = VT - D$ とおくと、以下のような非線形の不等式制約問題が得られることが論文 [2] に示されている。

$$\begin{cases} \text{Minimize } f(T, S) = \frac{10}{T^7} (S^2 + W^2) - 2V_0 S + V_0^2 T \\ \text{Subject to} \\ 1) 8V_0 T \geq 15S \\ 2) g(T, S) = \frac{W^2 + S^2}{T^4} = \frac{3}{100} A^2 \end{cases} \quad (4)$$

本研究では、車両の初速度 $V_0 = 15[m/s]$ 、車線の幅 $W = 3[m]$ 、車両の最大加速度 $A = 3[m/s^2]$ として、次の 4 節でシミュレーションを行っている。そのシミュレーションを行うために必要なパラメータを (4) 式より導出した。その結果、

$$S = 1.0614, T = 2.4747, D = 36.098$$

が得られた。

4 シミュレーション

車両は原点から x 軸正方向に速度 $15[m/s]$ で走りだし、すぐに $y = 3$ の目標車線にたいして車線変更を開始するものとする。3 節で算出したパラメータより、車線変更にかかる時間 $T = 2.47[s]$ 、車線変更時の x 軸方向の目標距離 $D = 36.1[m]$ とし、車両の車輪の前後間の距離は $L = 4$ とする。

本研究では 3 節で示した目標軌道に対して車両が沿うように車線変更を行うよう PID 制御をかけ、軌道がどのようになるかシミュレーションを行う。

PID 制御とは P 制御 (比例制御), I 制御 (積分制御), D 制御 (微分制御) の三つを組み合わせた制御方法を指す。P 制御とは、目標値と現在値の誤差に比例した操作量を働かせる動作のことを表し、I 制御とは、誤差の累積値に比例した操作量を加える動作のことを表す。また、D 制御とは誤差の変化率に比例した操作量を加える動作を表す。このことから PID 制御での操作量は、

$$\text{操作量} = K_p * \text{誤差} + K_i * \int \text{誤差} + K_d * \text{誤差の変化率} \quad (5)$$

と表される。

本研究で行うシミュレーションでは、目標軌道の角度 θ_d を用いて誤差を

$$\epsilon_p = \dot{\theta}_d - \dot{\theta} \quad (6)$$

とし、PID 制御をかけたものをハンドルの角速度 $\dot{\phi}$ として入力する。ハンドルの角速度 $\dot{\phi}$ は

$$\dot{\phi} = K_p * \epsilon_p + K_i * \int \epsilon_p + K_d * \frac{d\epsilon_p}{dt} \quad (7)$$

となる。

比例ゲイン、積分ゲイン、微分ゲインをそれぞれ $K_p = 15$, $K_i = 12$, $K_d = 0.2$ としたシミュレーション結果を図 2 に示す。図の赤線は目標軌道、青線は車両の軌道を表している。

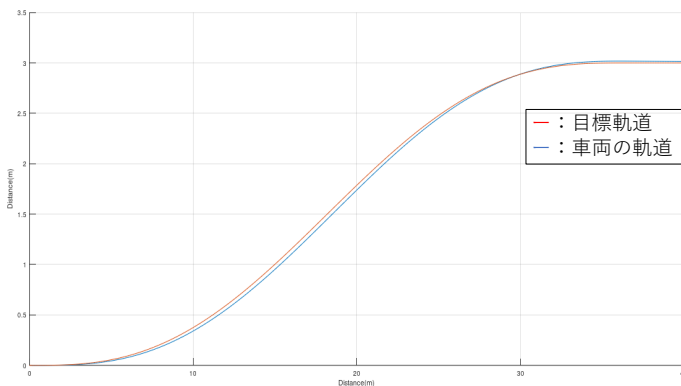


図 2 シミュレーション結果

図 2 より車両は目標軌道に沿って滑らかな車線変更を行っていることが分かる。しかし、今回用いた手法では目

標軌道と車両の軌道のずれを完全になくすことはできなかった。

5 おわりに

本研究では車線変更の自動化を目指し、軌道関数と PID 制御を用いて車線変更の軌道について検証した。その結果、本研究で用いた手法では、目標軌道と少しだがズレが出てしまった。これは、目標軌道と車両の角速度の偏差に PID 制御をかけたものをハンドルの角速度として入力とし、車両の姿勢角を算出しているためだと考えられる。そのため、より滑らかな車線変更を行うために、他の手法について調査を行う必要がある。また、本研究では他車両などの周囲の状況は考慮していない。これらを解決することによって、車線変更の自動化に近づけると考える。

参考文献

- [1] Tajima Robotics, 「自動運転車を制御してみよう：車の運動力学モデルを求める」, 2018-05-22, (<https://tajimarobotics.com/self-driving-car-kinematic-model/>), (閲覧日:2022-01-18)
- [2] 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
- [3] Octave Forge, (<https://octave.sourceforge.io/optim/function/fmincon.html>), (閲覧日:2022-01-29)
- [4] MathWorks, (<https://jp.mathworks.com/help/optim/ug/fmincon.html>), (閲覧日:2022-01-29)