

左右路面状況が異なる曲線部走行時における四輪車の車線追従制御に関する研究

都立産業技術高等専門学校 ロボット工学コース 笠原 美左和

1 はじめに

車両の操縦安定性向上を実現する車両の自律走行を目的とした車線追従制御の研究は、古典制御理論から現代制御理論まで様々な制御理論に基づく制御アルゴリズムが提案されている。その1つであるヨーレート γ と横加速度 a_y の線形結合で定義される D^* を入力とし、車両の実状態量を目標値に追従させる D^* 制御は、過渡応答の改善などに効果的である [1, 2]。自動車産業界でも広く用いられているスライディングモード制御は、実用性の高い非線形制御理論であり、外乱やモデル化誤差などの不確かさに対しても良好な制御系を構成できる。

本研究では、スライディングモード制御と D^* 制御を組み合わせ、横風外乱や路面状況の変化などモデル加わる外乱の有無により、 D^* 制御の重み係数を変化させることで、緊急事態に対処できる制御則を導き出す [3]。

2 四輪車両モデル

Fig. 1 に車両モデルを示す [4]。

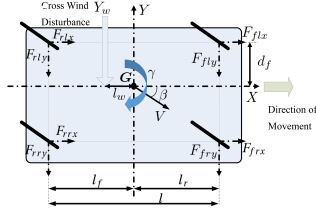


図 1: vehicle model

I : 車両の慣性モーメント

m : 車両質量

a_y : 車両の横加速度

γ : ヨーレート

K_F, K_R : 前後輪タイヤのコーナリングパワー

l_f, l_r, l_w : 重心から前後輪軸, 外乱作用点までの距離

V : 速度

Y_w : 車速に垂直に入る横風などの外乱

δ_f : 人間のハンドル操作による入力

状態ベクトル $x_p = [a_y \ \gamma]^T$, δ_r を入力とする車両状態方程式 [4] を (1) 式に示し、切換関数 σ [5] を (2) 式に示す。

$$\dot{x}_p = A_p x_p + B_p \delta_r + H_p \quad (1)$$

$$\sigma = S x_p = s_1 a_y + s_2 \gamma \quad (2)$$

$$A_p = \begin{bmatrix} -\frac{P_1}{mV} - \frac{P_2^2}{VIP_1} & \frac{P_2}{mV} + \frac{K_F K_R l^2 P_2}{mV^3 IP_1} \\ \frac{mVP_2}{IP_1} & -\frac{K_F K_R l^2}{IVP_1} \end{bmatrix} \quad B_p = \begin{bmatrix} \frac{P_2}{mV} P_4 \\ -VP_4 \end{bmatrix} \quad H_p = \begin{bmatrix} -\frac{P_2}{mV} P_4 \delta_f + \frac{K_R}{m} \dot{\delta}_r + \frac{P_2 P_5}{mV} Y_w \\ VP_4 \delta_f \end{bmatrix}$$

$$P_1 = K_F + K_R, \quad P_2 = K_F l_f - K_R l_r, \quad P_3 = K_F l_f^2 + K_R l_r^2, \quad P_4 = \frac{K_F K_R l}{IP_1}, \quad P_5 = \frac{P_2 + P_1 l_w}{P_1 I}$$

3 制御系の設計

横加速度 a_y とヨーレート γ より D^* を (3) 式に示し [1], (2) 式と (3) 式より (4) 式に書き換えることができる。

$$D^* = d_1 a_y + d_2 V \gamma \quad (0 < d_1 < 1) \quad d_1 + d_2 = 1 \quad (3)$$

$$= s_1 a_y + s_2 V \gamma = S x_p = \sigma \quad (4)$$

車両モデルの出力推定値 \hat{D}^* を規範モデルの出力 D_r^* に追従させる制御系を構成し、出力誤差 e を次のように定義する。

$$e = \hat{D}^* - D_r^* = S x_p - D_r^* \quad (5)$$

出力誤差を用いて、拡大系 $x = [e, x_p]^T$ を作成する。

$$\dot{x} = Ax + Bu_r + H + ED_r^* \quad A = \begin{bmatrix} 0 & S \\ 0 & A_p \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ B_p \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} 0 \\ H_p \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

等価制御入力項 u_{req} と非線形制御入力項 u_{nl} の和であらわされる後輪舵角 u_r は、(6) 式で構成される。

$$u_r = -SB^{-1} \{SAx + SH + SED_r^*\} - k_q \frac{\sigma}{\|\sigma\| + \mu} \quad (6)$$

通常、スライディングモード制御に用いる切換関数の S は固定である。本論文では、路面状況や外乱の有無に応じた操舵法を構築するため、切換関数の S を切り換える手法を提案する。横滑り角の変化 β の値が小さい場合、切換関数を $S = [0.1 \ 0.9]$ とする。次に、横滑り角の変化 β の値が非常に大きいとき、切換関数を $S = [0.9 \ 0.1]$ に切り換える。より操安性を向上させるため、横滑り角が変化 β の値が少し生じた時点で切換関数を $S = [0.5 \ 0.5]$ に切り換える。

4 数値例

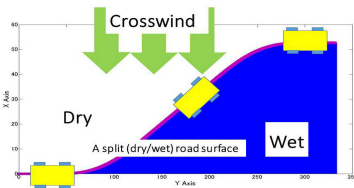


図 2: course

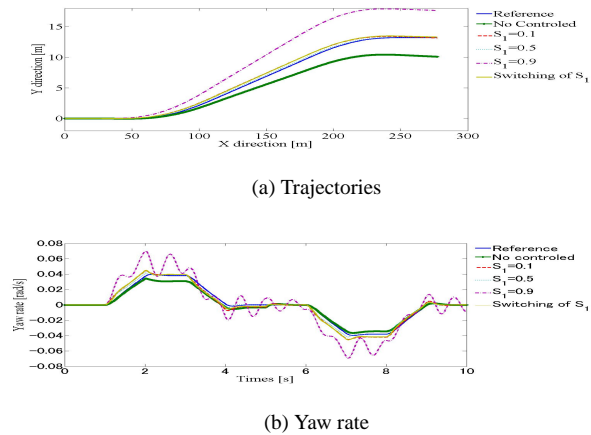


図 3: Numerical examples

進行方向に向かって、右側が乾燥路面、左側が濡れた路面を走行中、横風がスタートから 3 秒後、3 秒間、一定風速の横風が進行方向左側から吹いている (Fig.2 参照)。規範モデル、制御しなかった場合、 $s_1 = 0.1$, $s_1 = 0.5$, $s_1 = 0.9$, s_1 を状況に応じて切り換えた場合のヨーレート、軌道のシミュレーション結果を Fig.3 に示す。Fig.3(a) に示すように、制御しなかった場合の軌道は、進行方向左側から吹いている風や路面の影響を受けているため、規範モデルの軌道よりずれている。 $s_1 = 0.1$, $s_1 = 0.5$, $s_1 = 0.9$, 提案した操舵法と比較すると、提案した操舵法が一番規範モデルの軌道に追従しているのはわかる。また、Fig.3(b) から同様のことがわかる。これは、切換関数を切り換えることにより、規範モデルと車両モデルの出力に生じる差を小さくする傾向にすることができた。

5 まとめ

D^* 制御に用いる重み係数を、スライディングモード制御における切換関数の S に置き換え、 D^* 制御とスライディングモード制御を組み合わせた操舵法を構築した。車輪下左右の状況の異なる路面で一定風速の横風を加えた場合についてシミュレーションを行った結果、新しい操舵法を用いたことにより目標軌道に追従させることが可能となった。これにより、今回提案した手法は有効なものであるといえる。ただし、切換関数は実際の横滑り角の変化を見ながら試行錯誤的に設定した。今後は切換関数を理論的に導出していく。

参考文献

- [1] 金井喜美雄, 越智徳昌, 川邊武俊, , ビーグル制御 -航空機と自動車-, 橘書店, (2004)
- [2] 西原修, 野田真太郎, 坂谷祐輔, 栗重正彦, 路面摩擦係数推定によるアクティブ四輪操舵車両のプロテクション機能, 日本機械学会論文集, C, Vol.75, No. 759, (2009)
- [3] 笠原美左和, 森泰親, モデル規範型 D^* 制御を用いた人間一自動車系のアクティブ後輪操舵, 平成 25 年電気学会全国大会 (2013)
- [4] 安部正人, 自動車の運動と制御 第 2 版 -一車両運動力学の理論形成と応用-, 東京電機大学出版局 (2012)
- [5] 野波健蔵, 田 宏奇, スライディングモード制御 コロナ社, (2007)