

RoboCar を用いたスリップ時の自動車制御の実験的検討

Experimental study on automobile control during sideslip condition using RoboCar

知能機械システム工学コース

機械・航空システム制御研究室 1215035 山野 大輝

1. 緒言

冬季には積雪や路面が凍結することがある。このような状況になったとき自動車はスリップを起こしやすくなる⁽¹⁾。実際にスリップが起きた時、運転技術により回避できる場合もあるが制御できず事故につながってしまう可能性もある。このような事故を回避する技術としてスタッドレスタイヤやABS, ESC と呼ばれるブレーキ制御がある。しかしながら、これらの技術にも限界はありスリップが起こる可能性は十分に考えられる。

そこで、タイヤ舵角、車速、舵角、角速度を検出して不安定な挙動が起こった場合に安全に回避するシステムを提案する。このために、角速度に応じてタイヤ舵角や車速を制御する。今回は、提案したシステムを実現するために実車の1/10 スケールのモデルカー(以下、RoboCar)を用いて走行実験を行ったのでその結果について述べる。表 1 に RoboCar の仕様を示す。

Table1 Robocar of specification

Item	Specification
Drive system	2WD(FR)
Size	429 × 195 × 212[mm]
Weight	3[kg]
Wheelbase	260[mm]
Tread	160[mm]
Maximum speed	10[km/h]
Minimum turning radius	0.71[m]
Steering angle	-30~30[°]
External sensor	Infrared sensor
	Stereo camera
Internal sensor	Gyro sensor(1 axis)
	Acceleration sensor(3 axis)
	Rotary encoder (Wheel × 4, Drive motor × 1)

2. 基礎走行実験

2.1 制御方法

図 1 に作成した舵角制御システムのブロック線図を示す。PID 制御を用いて角速度追従制御を行った。目標角速度 ω_0 として偏差 e を

$$e = \omega_0 - \omega \quad \dots(1)$$

として舵角制御を行った。現在の偏差を e_0 , 前回の偏差を e_1 , 偏差の合計を x とし、舵角 st を

$$st = K_p * e_0 + K_I * x + K_D * (e_0 - e_1) \quad \dots(2)$$

として計算した。その後、舵角 st を操作量としコントローラへ入力し変化した角速度をフィードバックしている。

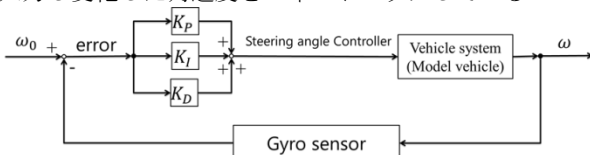


Fig.1 Block diagram

2.2 実験結果

PID 制御の値を $K_p = 0.05$ $K_I = 0.005$ $K_D = 0.0005$, 目標角速度を 0[deg/s]から 1.5 秒後に 57.3[deg/s], タイヤ速度を 1.4[m/s]と設定し実験を行った。図 2 に dry 路面で走行したときの結果を図 3 に wet 路面で走行したときの結果を示す。また、図 4 に wet 路面におけるタイヤ速度を示す。図 2 の結果から PID 制御を行うことで通常路面においては理想的な走行を行えた。しかし、図 3, 4 の結果から摩擦係数が低くなると不安定になっていることがわかる。

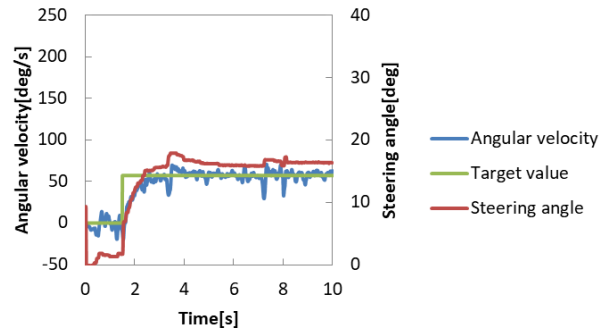


Fig2 Driving results on dry road surface

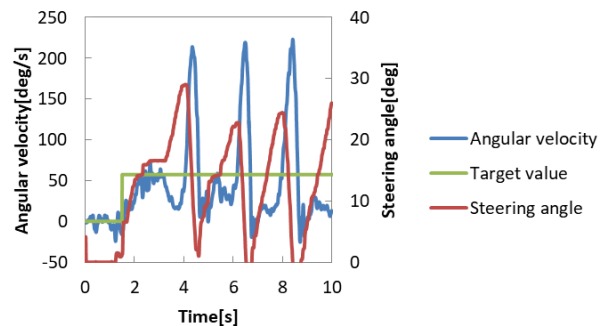


Fig3 Driving result on wet road surface

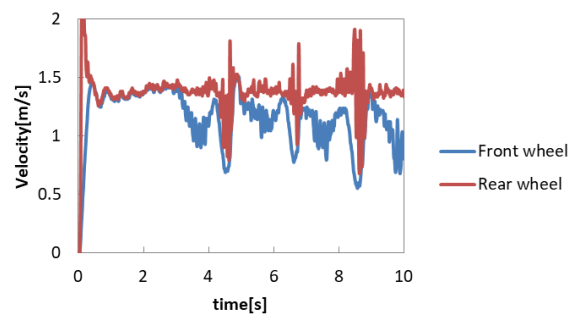


Fig4 Tire velocity on wet road surface

2.3 考察

実験の結果から低摩擦路面での走行を行う際には舵角制御だけでは安定しないことが分かった。また、図4の結果より車両がスリップを起こしたとき前後輪の速度が急激に落ちていることが分かる。スリップを起こしたとき車体が前輪を中心に回転しているため前輪は速度が落ちていると考えられる。後輪は一時的に速度が落ちるが常に一定のタイヤ速度になるようにトルクをかけている。そのため車体速度が下がった後、加速するので再び角速度が不安定になると考えられる。このことから舵角だけではなく車速や路面摩擦を考慮した制御が必要であると考えられる。

3. 速度制御実験

3.1 制御方法

図5に速度制御を含めたシステムのフローチャートを示す。速度制御は、前後輪差を計算し閾値を用いている。今回の閾値は、50[mm/s]とした。前後輪差が50[mm/s]以上の場合、モータの出力を前輪の速度と同じにすることで RoboCar のスリップを抑制している。また、減速だけでは速度が遅くなりすぎたり、止まってしまったりするため閾値を超えていない場合は少しずつ速度を上げる制御を行った。角速度制御は、基礎走行実験で使ったものと同じ制御を行っている。また、目標角速度は

$$\omega_0 = v/r \dots(3)$$

(3)式より、RoboCar の速度 v と旋回半径 r によって算出した。今回は、半径1[m]の円を走行することとした。

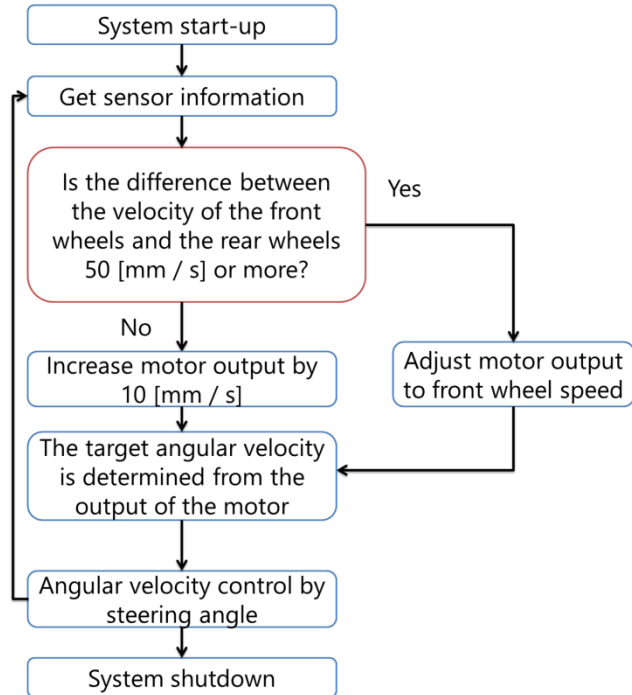


Fig5 System flow chart

3.2 実験結果

図6に wet 路面での角速度変化、図7に wet 路面での速度変化、図8にモーションキャプチャーを使った dry 路面と wet 路面での RoboCar の走行軌跡を示す。実験結果より、速度制御を行うことによりスリップを抑制することができ wet 路面においても目標の旋回半径で走行できることが分かる。速度は、前輪と後輪の速度がほぼ一致しており、速度制御を行わなかったときのような速度差が現れることはなかった。

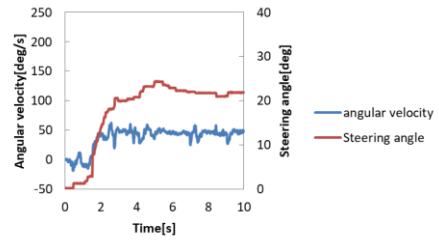


Fig.6 Angular velocity change on wet road surface

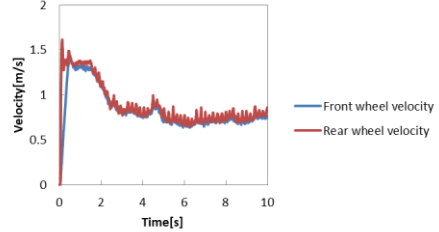


Fig.7 Velocity change on wet road surface

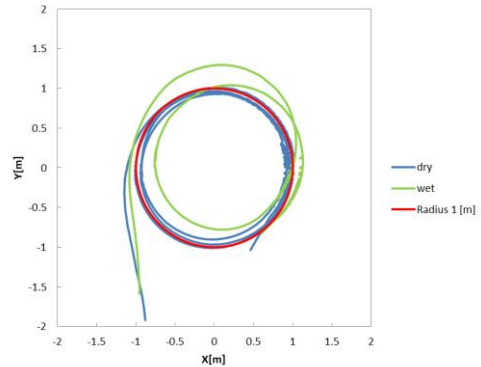


Fig.8 Running RoboCar

3.3 考察

今回の制御方法では、速度が変化したときに目標角速度の角速度が変化するため角速度が追従している限り様々な速度で走行することが可能だと考えられる。しかしながら、速度は閾値を超えるまでは常に加速を続けているため定期的にスリップを起こすような速度に達してしまうため安全性に欠けると考えられる。

wet 路面での走行においてほぼ目標の旋回半径で走行できているが dry 路面との走行にズレが生じている。そのため、実際の道路での走行を行うときには、より高度な追従性能にしたり、走行環境からのフィードバックを行って誤差を補正したりするようなシステムが必要だと考えられる。

4. 結言

今回は、不安定な挙動が起こった場合に事故を回避するシステムを提案し、システムを実現するための走行実験を行った。実験結果から舵角制御と速度制御を組み合わせることにより低摩擦路面においても安定した走行を行えることが確認できた。今後は、安全性を高めるために速度制御時の閾値の見直し、速度向上時の制御方法の検討を行っていくことを予定している。

文献

- (1) 高田哲哉, “冬期気象条件下における交通事故発生形態について”, 日本雪氷学会, No.29 (2010)