

Robocar を用いた車両の横滑り時の制御方法の実験的検討

Experimental investigation of Control Method for the Vehicle Skidding Using Robocar

知能機械工学コース

機械・航空システム制御研究室 1245027 的場 理仁

1. 緒言

日本では冬になると積雪や路面の凍結が起こる地域がある。このような冬期現象が事故の直接的または間接的な要因になったものを冬型事故と呼ぶ。冬型交通事故の約9割はスリップによる事故で、死亡事故の原因に関してはほとんどスリップが原因である^①。またスリップが要因の交通事故に関しては、死亡事故負傷事故共にハンドル操作やブレーキ操作の操作不適の事故が最も多く死亡事故に関しては約8割を占めている。^②現在ではABSやESCが搭載されている自動車が増加しているが、ほとんどがブレーキ操作を用いた技術である。本研究では、路面摩擦によらずスリップが起こった場合に操舵や駆動速度を調節することにより、主にハンドル操作を用いてスピン(車が旋回して制御できない状態)を抑制し、旋回するシステムを検討する。

2. 研究内容と実験装置

今回はカウンターステアの操作方法を用いてスピンを回避するシステムについて検討する。カウンターステアとは、自動車がスピンしそうになった時に旋回方向とは逆の方向にハンドルを切るという操作である。この提案の有効性を確認するために、本研究では実車の1/10スケールのRobocarを用いて実験を行う。

表1にRobocarの仕様を示す。Robocarは、CPUボードにプログラムを書き込むことで種々の制御を行うことが可能である。また今回使用するRobocarは後輪駆動である。この本研究では主に舵角制御を用いることでスピン回避の可能性の実験的検討を行う。

Table1 Robocar's specification

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

Robocar においてスピンが発生した時の挙動を確認するために乾いた路面と濡れた路面での走行状況を行った。モータ回転数による車体速度を1400[mm/s]、舵角に設定して走行させ30[deg](右回り)の時の前後輪の速度と角速度を計測した。図1に乾いた路面、図2に濡れた路面の前後輪速度と角速度のグラフを示す。なお前輪と後輪の速度は左右2輪の平均の速度とする。路面が濡れた状態では速度や角速度が激しく変化しておりスリップが起きていることがわかる。特に3~4[s]、6~7[s]時は、前輪速度も小さくなり角速度が急変したことから前輪の力が小さくなりスピンが発生してしまったと考えられる。

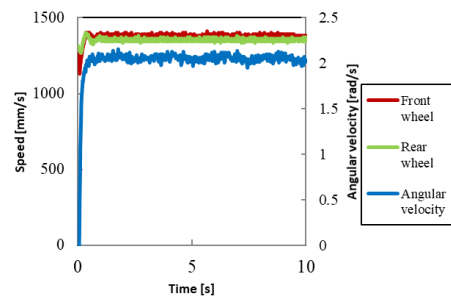


Fig.1 dry road

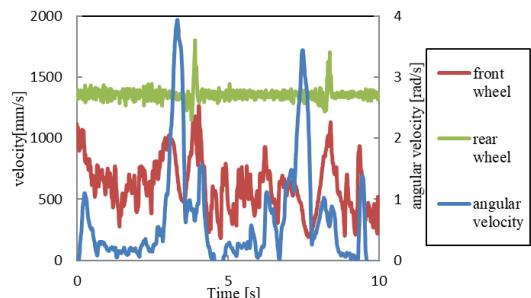


Fig.2 wet road

3. 舵角制御

図2の実験結果からスピンの判断は角速度と前輪速度が考えられる。前輪速度はスピン時とその前で判別できるほどの差が無い。対して角速度が急激に大きくなる時にスピンをしているため、スピンの検出は角速度の方が容易だと考えた。カウンターステアを利用しスピンの回避が可能か調べるために速度と舵角を一定にした上で実験を行った。

舵角制御を用いたプログラムに関するフローチャートを図3に示す。角速度の閾値は図1の実験結果から150[deg/s](2.61[rad/s])とした。カウンタ角度は0[deg]と-30[deg]の2種類で行った。両方とも車体速度1400[mm/s]、舵角30[deg](右回り)、逆方向に切る時間を0.1[s]とする。図4にはカウンタ角度30[deg]の時の走行

結果を、図5には図4の舵角のグラフを示す。図6はカウンター角度が0[deg]の時の走行結果を、図7には図6の舵角のグラフを示す。

角速度が大きくなったところで、舵角も反対方向に切っていることが分かる。スピンを回避ができていたときは前輪速度が後輪速度とほぼ同じ速さとなっているが、スピンした時は前輪速度が小さくなって走行している。回避することも可能だが、角速度を閾値とした制御のみではスピンが発生してしまうことがあり安定性に欠けてしまう。

図2, 4, 6の実験からスピン時は前輪速度が小さくなっているためもう一つの判断方法と考えられる前輪速度に注目して制御を考えていく必要があると考えた。前輪速度がカウンターを行うための検出方法と考えた場合、モータ速度によって閾値を変更する必要があるため速度差(後輪-前輪)を閾値として速度差を含めたプログラムを作成した。図3の制御方法をベースに考え、よりスピン回避できる方法として角速度の閾値に速度差を加えて制御する方法と、角速度と速度差を別に制御する方法の2通りを考えた。図3で利用した制御方法をベースに作成したプログラムを抜粋した図を図8, 9示す。図8は角速度によるカウンターのうちある速度差以上では違う操作量のカウンターを行う制御を作成した。(パターン1)図9は角速度と速度差で違う操作量のカウンターを行う制御を作成した。(パターン2)速度差についてはこれまでの走行実験から速度差は600[mm/s]の閾値とする。

先程の制御方法よりカウンター後の速度差が小さくなっていることからより安定してスピンを回避していることがわかる。また図9の制御では図12, 13から速度差による制御が頻繁に行われていることがわかる。一度カウンターを当てるだけでは速度差が小さくならず、何度もカウンターを当てることで速度差が小さくなり角速度が大きくなったからだとかんがえられる。

ここまでの実験を踏まえ、角速度と前後輪の速度差に着目してより現実的な旋回制御をおこなった。

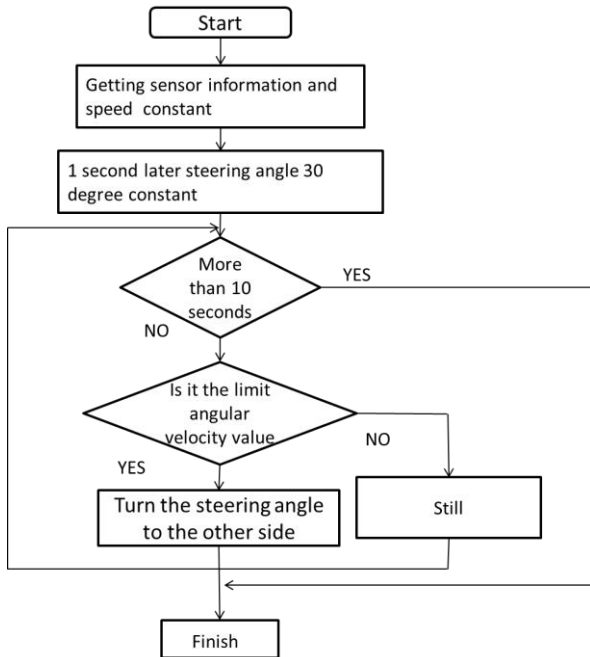


Fig.3 Flowchart

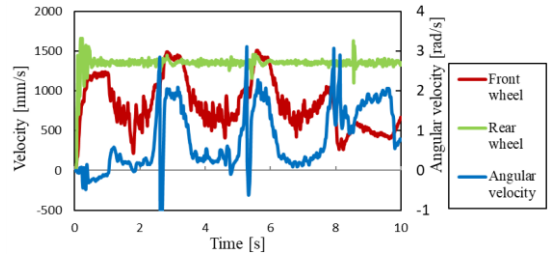


Fig.4 Result

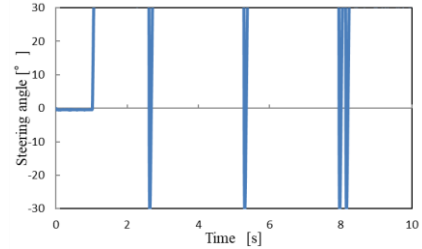


Fig.5 Steering angle

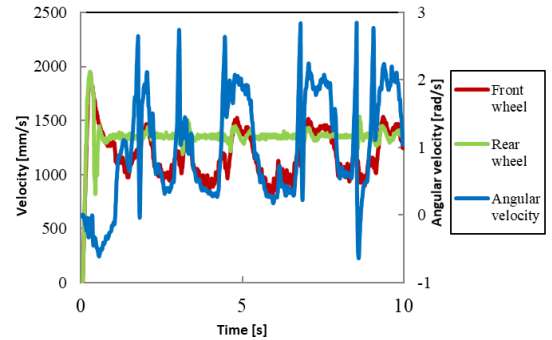


Fig.6 Result

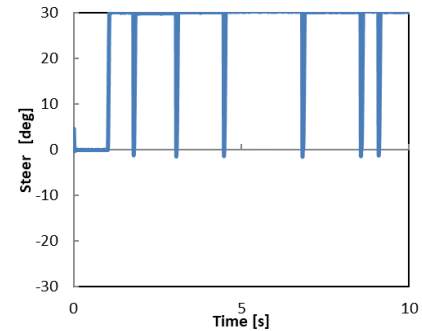


Fig.7 Steering angle

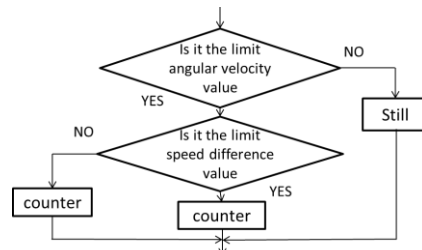


Fig.8 Part of the flowchart pattern 1

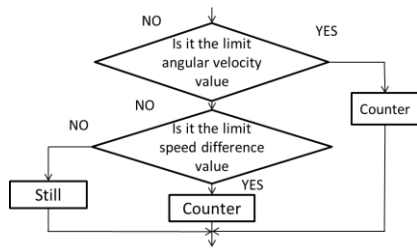


Fig.9 Part of the flowchart pattern 1

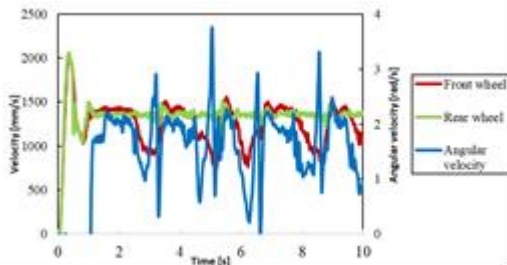


Fig.10 Pattern 1's result

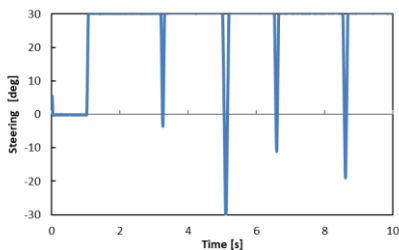


Fig.11 Pattern 1's steering angle

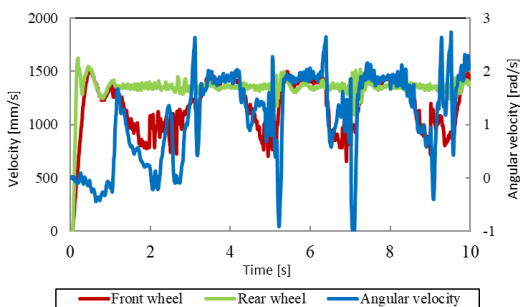


Fig.12 Pattern 2's result

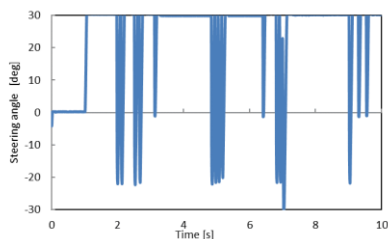


Fig.13 Pattern 2's steering angle

4. 目標角速度

これまでの実験結果を活かし、目標とする角速度で走行するプログラムを作成した。操作舵角の設定は、角速度の偏差を利用し、PID 制御を用いることで舵角を設定した。図 14 に PID 制御の図を示す。

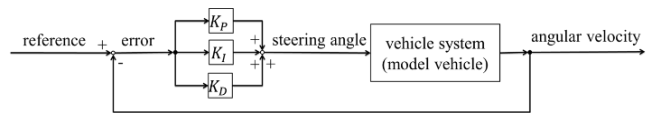


Fig.14 PID controller⁽³⁾

走行方法としてはまず 1.5[s]間は目標角速度 0[rad/s]、その後 2[s]間は 1 秒後に 1.75 [rad/s](100[deg/s])になるような目標値を設定し、最後 0.5[s]は 0[rad/s]とした。P ゲインは 0.3, 0.4, 0.5, D ゲインは 0.003, 0.004, 0.005 の三種類で行った。Dry 時と wet 時の走行結果を図 15~20 に示す。走行結果から目標値を大きくしてからの 2 秒間では目標角速度迄たどり着いていないことがわかる。さらに dry 時において図より P=0.5 では全ての時間で、P=0.3, 0.4 では約 1.5[s]後から角速度の大小が繰り返されながら走行していることがわかる。

図 18~20 でも dry 時より角速度の大小が抑えられているが、目標角速度迄到達することができておらず、角速度が走行によって不規則に走行していることがわかる。このことから P, D 両ゲインにおいて更なる調節を行い、目標角速度に到達しつつより角速度の増減を抑えるためには更なる工夫が必要であることが考えられる。

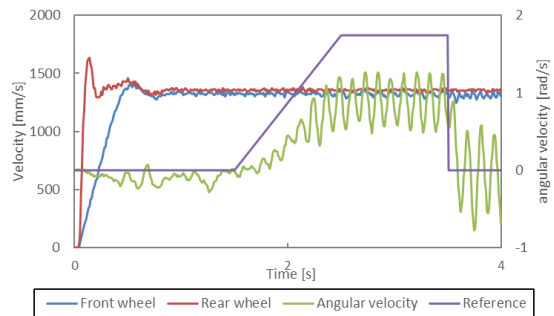


Fig.15 Result(P=0.3 D=0.003)

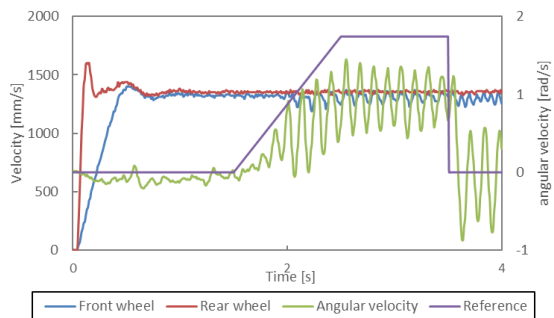


Fig.16 Result(P=0.4 D=0.004)

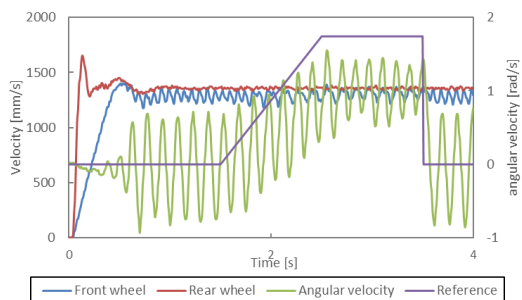


Fig.17 Result(P=0.5 D=0.005)

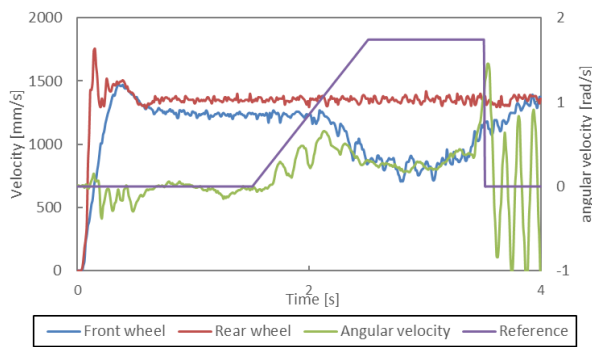


Fig.18 Result($P=0.3$ $D=0.003$) wet

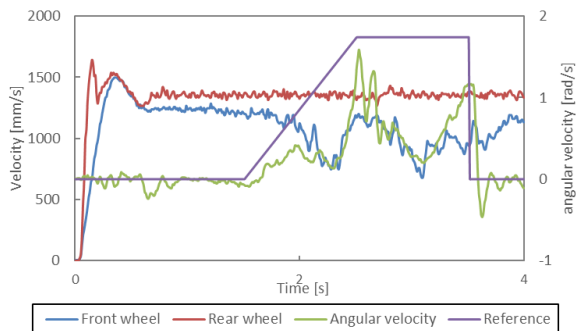


Fig.19 Result($P=0.4$ $D=0.004$) wet

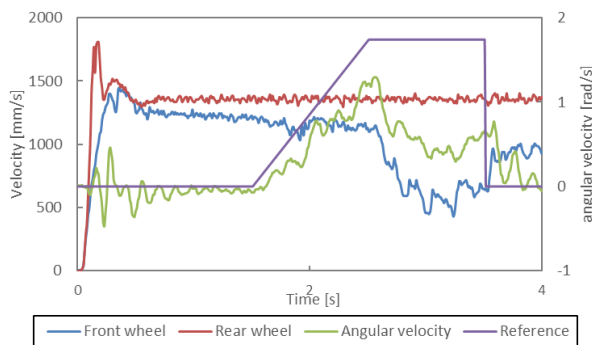


Fig.20 Result($P=0.5$ $D=0.005$) wet

5. 結言

今回舵角制御を用いてスピンを回避する走行実験を行った。カウンターステアを用いた回避方法は実車でも使われる方法なのでRobocarでも回避が可能なが分かった。速度差にも注目することでよりスピン回避の安定性が向上することがわかった。

目標角速度で走行するための舵角の操作量の設定についてはPD制御を行った。これからカウンター制御を加えた走行実験も行っていく予定である。ゲインの調節などPD制御でできることを考察しつつ同時に他のFB制御についても検討の必要があると考えられる。

参考文献

- (1) 冬型事故の実態(平成30年度) 北海道警察本部交通企画課
- (2) スリップが要因となる交通事故実態 北海道警察本部交通企画課
- (3) 山野大輝 “RoboCarを用いたスリップ時の自動車制御の実験的検討” 高知工科大学 修士論文 (2019)