

フライホイールを用いた自動二輪車型モデルの転倒防止システムの構築

○櫻井仁貴(北見工業大学), 渡辺美知子(北見工業大学),

鈴木育男(北見工業大学), 岩館健司(北見工業大学), 古川正志(北海道情報大学)

要旨

本研究は, 自動二輪車の力学モデルを参考に物理現象を再現できる PhysX を用いて自動二輪車型車両のモデリングを行い, このモデルにフライホイールを装着して低速走行時の転倒防止システムの構築に進化学習を用いて安定化制御を試みる. 進化学習には, 人工ニューラルネットワーク(ANN)と遺伝的アルゴリズム(GA)を用いる.

1 はじめに

自動二輪車は, 車体がコンパクトで小回りがきいて手頃な価格という利点があり, 日常の通勤手段や各種配達業務, 休日のレジャーなど多面的に利用されている乗り物である. しかし, その安定性や安全性は自動四輪車と比較すると非常に低く, より一層の安全性が求められているのが現状である. 二輪車は, 中速域では全後輪から得られるジャイロ効果と車体に加わる遠心力によって安定した走行が可能であるが, 低速域ではその要素が十分に得られないため安定した走行が困難となり, 転倒につながりやすい. 出口ら¹⁾は, 状態方程式を導出し慣性ロータとステアリング操作を同時に制御することで, 低速域で非常に安定した走行が可能であることを報告している. しかし, 状態方程式を用いる制御は非常に複雑であり, 制御設計が困難である. そこで, 複雑な制御設計を必要とせずモデル自身の自律的な転倒防止システムの獲得を目指す.

本研究では, 三次元仮想空間内に自動二輪車型車両をモデリングし, 低速走行時のモデルの転倒を防止するために進化学習を用いて支援システムを構築することを目的とする. このモデルにはボディ中央部にフライホイールを搭載し, フライホイールの回転で得られる慣性モーメントを用いて車体の倒立を試みる. このシステムの自律的な獲得には, 人工ニューラルネットワーク(Artificial Neural Network, ANN), ANNのニューロン間の結合荷重の最適化に進化計算の一手法である遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm, GA)を使用した進化学習の機能を採用する. 最後に, 提案手法の有効性を数値シミュレーション実験で検証する.

2 自動二輪車型モデル

自動二輪車型車両モデルは, Sharp の論文²⁾の4自由度モデル(Fig.1)を参考にモデリングした. この作成したモデルは, Fig.2に正面図, Fig.3に側面図を示している. 自動二輪車の倒立を実現させるために, Fig.3のように車体下方中央付近にフライホイールを設置した. ライダーモデルは, リアフレームに中央に配置した. ライダーが旋回する際の乗車姿勢としては, リーンアウト, リーンウィズ, リーンインの3種類ある. 今回の乗車姿勢はリーンウィズを想定し, ライダーモデルは車体から動かない設定としている.

3 制御方法

自動二輪車は非ホロミック系であり, 制御設計が難しい非線形対象である事が知られている³⁾. そこで, 非線形問題に対し有効である人工ニューラルネットワーク(ANN)と, 最適化の一手法である遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた進化学習の機能を用いて制御する. 具体的には, ANNのニューロン間の結合荷重 w の最適化にGAを用いる.

Table 1 The size of motorcycle model

Length	2.1 [m]	Front Tire Diameter	0.6[m]
Height	0.77[m]	Front Tire Width	0.11[m]
Body density	7850	Rear Tire Diameter	0.6[m]
Tire density	5000	Rear Tire Width	0.15[m]
Offset	0.024[m]	Flywheel Diameter	0.35[m]
Caster angle	27°	Flywheel Width	0.1[m]

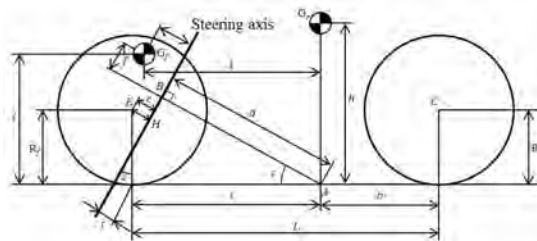


Fig.1 Sharp's 4 degrees of freedom motorcycle model



Fig.2 Front view

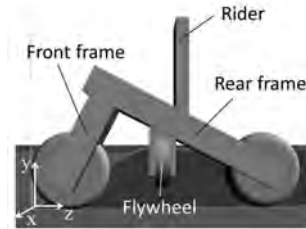


Fig.3 Side view

3.1 人工ニューラルネットワーク (ANN)

ANNのネットワーク構造には, 階層型のフィードフォワード型と双方向のリカレント型があるが, 本研究では階層型のフィードフォワード型を用いる.

一般的に階層型のANNは, 入力層, 中間層, 出力層の3層から構成され, 各層には複数のニューロンが配置されている. 今回は, この3層のANNを用いてシミュレーション実験を行った. 各層のニューロン数については, 4章のシミュレーション実験で述べる.

ANNの出力関数には, 式(1)に示すシグモイド関数を用い, 出力の範囲を $[-1, 1]$ としている. ここで, T は温度係数で0.1に設定した. 式(2)はフライホイールに与える角速度 ω_g , 式(3)はステアリング軸に与える角速度 ω_f を示している. ここで, $Output$ がANNの出力であり, それぞれの最大角速度 ω_{max} との積が実際にフライホイールとステアリング軸に出力される角速度となっている.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\left(\frac{x}{T}\right)}} \quad (1)$$

$$\omega_g = \omega_{g \max} \cdot \text{Output}1 \quad (2)$$

$$\omega_f = \omega_{f \max} \cdot \text{Output}2 \quad (3)$$

3.2 遺伝的アルゴリズム (GA)

本研究では, ANNの結合荷重 w の最適化にGAを採用し, モデルの安定化制御の獲得を行っている. このGAの遺伝オペレータには, 交叉, 突然変異, 選択・淘汰を用いる. 突然変異は, 一様突然変異, 境界突然変異, 微量を遺伝子要素に加算する方法を併用した. これにより, 単に乱数を発生させるだけの時と比べて最適値に収束しやすくなったと考えた. また選択には, 最も優秀な個体を保存するエリート保存を採用した. GAのパラメータはTable2に示す通りである.

4 シミュレーション実験

自動二輪車モデルは低速時を想定し, 後輪に一定の角速度を与えて一定速度での直線走行実験を行った. 実験条件をTable.3に示す. 本実験ではロール角の安定条件として角度が $-0.2[\text{deg}] \sim 0.2[\text{deg}]$ の範囲で安定角度であるとした. シミュレーション実験ではモデルの正面に光源を設置し, 目標に追従させることで低速時における転倒防止システムの制御を行った. また提案するシステムを導入した場合としない場合で比較実験を行った. ANNの入力は, モデルから目標までのベクトルと進行方向ベクトルとのなす角, フロントフレームの回転角速度, 車体のロール方向の慣性モーメント, ロール角そして閾値である. 各層のニューロン数は入力層7, 中間層9, 出力層2とした. また, 評価関数には式(4)を用いた. ここで C_1 は車体のロール角の θ_1 の \cos 値, C_v は車体から目標までのベクトルと進行方向ベクトルとのなす角 θ_2 の \cos 値を表している. 評価値は, この C_1 と C_v のステップ回数分の総和とした.

$$E = \sum_{i=0}^s C_v + \alpha \cdot C_1 \quad \alpha = 0.8 \quad (4)$$

5 結果・考察

シミュレーション実験の結果, モデルが目標地に直進する行動を獲得することができた. fig.4は支援システムを導入しない場合と導入した場合の比較実験の結果であり, 横軸が時間, 縦軸が角度を示している. 角度はモデルのY軸鉛直上向きを $0[\text{deg}]$ とし, 進行方向に対し左向きに傾くと負の値, 右向きに傾くと正の値を取る. 前者は, $0[\text{s}] \sim 10[\text{s}]$ でロール角が安定条件内の値を取り安定した走行を行っていたが, その後はロール角が正負に大きく変化したのち目標地到達前に転倒した. また, 操舵角を見ると $15[\text{s}]$ 付近からは角度が正負に大きく増加していることにより, 蛇行しながら転倒したことがわかる. 一方後者は, $0[\text{s}] \sim 8[\text{s}]$ でロール角が大きく変化した, その後は一定の角度を保ち転倒せずに目標地まで到達した. しかし, 目標地到達直後は転倒する動作が確認された. なお, 目標地に到達するまでのロール角は大体 $-5[\text{deg}]$

Table 2 parameters of GA

Population	500
Generation	100
Crossover	0.2
Mutation	0.8
Selection	0.2
Step	1800

Table 3 experiment conditions

Angular velocity of rear tire	0.148 [rad/s] (10.04km/h)
Light position	30[m] front
Roll angle stable condition	$-0.2[\text{deg}] \sim 0.2[\text{deg}]$

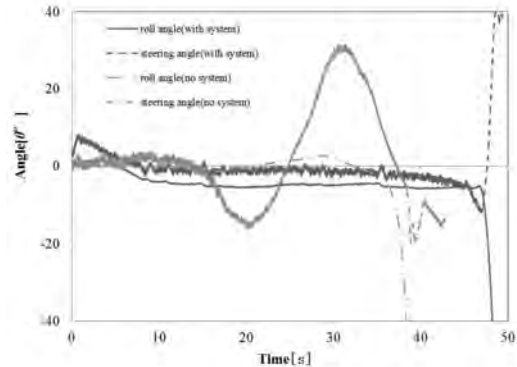


Fig.4 Roll and steering angle from result

で安定条件外となり, 安定した走行ができたとは言えない結果となった. 以上の結果より, 安定した角度ではないがシステムを導入したモデルはロール角を一定に保ちながら転倒せずに目標地に到達することができ, 本研究の目的を果たすことができた. ロール角の安定化と, 目標地到達直後の車体の転倒防止が今後の課題であると考えられる.

6 終わりに

三次元物理空間内に自動二輪車型のモデリングを行い, このモデルにフライホイールを装着して低速走行時の転倒防止システムの獲得に進化学習を用いて行った. その結果, 以下のことがらが得られた.

- 低速時の直線走行実験を行った結果, 一定角度を維持した走行が可能である事を確認し, 低速走行中の転倒防止システムを構築することができた.
- 支援システムの導入前後における比較実験を行い, 提案手法が有効であることを示した.

今後は, 走行中の外乱を考慮した実験やライダーモデルの改善及び, 旋回時の転倒防止を行いたいと考えている.

参考文献

- 1) 出口雄介, 渡辺修, 慣性ロータとステアリング操作によるバイク型二輪車の走行制御, 東海支部総会講演会講演論文集, pp103-1-103-2, 2012
- 2) R.S.Sharp, "The Stability and Control of Motorcycles", Journal Mechanical Engineering Science, Vol.13, No.5, pp316-329, 1971
- 3) 三平満司: 非ホロノミック系のフィードバック制御, 計測と制御, Vol.36, No.6, pp396-403, 1997
- 4) 古川正志他著, メタヒューリスティクスとナチュラルコンピューティング, コロナ社, 2012