室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

倒立振子ロボットの安定性と一次元走行

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 交通流数理研究会
	公開日: 2020-07-07
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 森, 俊輔, 阿部, 築, 大形, 聡, 本田, 泰
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00010214

倒立振子ロボットの安定性と一次元走行

森 俊輔 [1]，阿部築 [1]，大形聡 [1]，本田 泰 [2]

[1] 室蘭工業大学 情報電子工学系専攻
[2] 室蘭工業大学 しくみ情報系領域

概要

慣性センサを用いた感覚加速度写像によって，倒立振子ロボットを開発した．その倒立振子ロボットの倒立の安定範囲を調査した．またその倒立振子ロボットを前進させるように感覚加速度写像を変更した．また超音波センサを用いることで，壁からの距離を一定に保つ倒立振子ロボットの開発をすることができた．本走行ロボットを用いて一次元走行を形成しその過程を観測した．

Stability and one-dimensional running of the Inverted Pendulum Type Mobile Robot

Syunsuke Mori[1], Kizuku Abe[1], Satoshi Ohgata[1], Yasushi Honda[2]

[1] Division of Information and Electronic Engineering, Muroran Institute of Technology
[2] College of Information and Systems, Muroran Institute of Technology

Abstract

We developed a Inverted Pendulum Type Mobile Robot by sensory acceralation map using inertial sensor. we investigated the stability range of gains for the Inverted Pendulum Type Mobile Robot.We found that a modification for that mapping brings running mode to the robot.By using an ultrasonic sensor, we were able to develop the robot that keeps the distance from the wall constant. One-dimensional running was formed using this traveling robot and its process was observed.

1 はじめに

交通流は日常的に観測できる馴染み深い現象であり，1990 年代から盛んに研究が行われてきた．交通流には，少なくとも滑らかな流れ (自由流) と渋滞が存在することが直感的に分かる．また交通渋滞の数値シミュレーションから，車両密度が高い時は車の僅かな摂動によってボトルネック構造がなくても渋滞が発生すると考えられている [1]．以上のことから人間が運転していることが渋滞発生の原因であるとは限らないと考えられるが，実車を使った実験では，人間のドライバーがどのような考え方アルゴリズムで運転しているかが明確ではないし，個人差も存在する．

そこで先行研究 [2] ではレゴマインドストーム EV3 を用いて三輪型の走行ロボットを作成し，一次元交通流実験を行っていた．この交通流実験では円形のコースに沿って円を描く周回走行をさせていて，コースを周回する上で感覚速度写像を導入した．本研究では感覚速度写像と感覚加速度写像の 2 つの写像を同時にして用いることで走行と倒立の両立ができるかどうかを調査する．また倒立振子ロボットを用いて走行させることによって，三輪型の走行ロボット比べると，ロボット自身の幅が小さいために，将来的により多くの台数のロボットを用い実験を行うことができるという利点もある．この走行ロボットを使い，一次元走行実験を行う．

2　倒立振子ロボット

本研究で使用する倒立振子ロボットを図 1 に示す．本実験に用いる走行ロボットが満たさなければならない条件は 3 つである．

- ロボットを 2 つのタイヤで倒立させる．
- 倒立したロボットを前進させる．
- 円周上のコースを周回する．

まずロボットを倒立させるために慣性センサを搭載する．このセンサはロボットの重心付近に付いていてロボット本体の角度と角速度を求めることができる．センサを重心付近に付けることで慣性力の影響を減らし得られるセンサの値のノイズを減らす．これらの値を使い倒立のための感覚加速度写像を導入する．次に倒立したロボットを前進させるために制御式を変更する．そして円周上のコースを周回させるためにロボットの右側に超音波センサを搭載する．このセンサで壁との距離を計測し円軌道のための感覚速度写像を導入する．

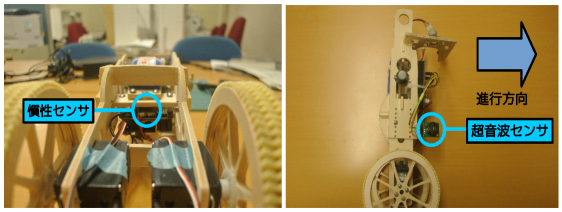

図 1: 慣性センサと超音波センサを搭載した倒立振子ロボット

2.1　倒立振子のための感覚加速度写像

倒立振子ロボットを制御するための感覚加速度写像式はロボット本体の角度 θ，角速度 $\dot{\theta}$，モータの回転角速度 $\dot{\theta}_m$ を使い (1),(2) のような式とする．

$$m(t+\Delta t) = m(t) + \Delta m \tag{1}$$

$$\Delta m = g_a\theta + g_v\dot{\theta} + g_{mv}\dot{\theta}_m \tag{2}$$

$m(t)$ は時刻 t におけるモータの出力 (%) 値であり，それぞれのパラメータにかけてある値 (g_a, g_v, g_{mv}) がゲインでこの値に倒立の安定性は依存している．現在は手動でこの 3 つのゲインの値を変えて倒立実験を行い，モーションキャプチャから得られた座標データをもとに倒立の安定する範囲を調査しており，その実験で得られた安定範囲のグラフが図 2 になる．この実験では $g_{mv} = 0$ に固定して g_a, g_v の値を変更して実験を行った．また，Δt=0.005 である．今回の実験では 1 つのゲインで 3 回実験を行い，青い丸が 3 回すべて倒立した点で黄緑色の点が 1 回でも倒立した点で赤い丸が転倒した点である．今回の実験では 1 分間倒立したゲインを安定ゲインとした．本研究ではロボットの高い安定性が観測された $g_a = 4, g_v = 1.6$ を使用し走行実験を行う．次に g_{mv} の値について $g_{mv} = 0.000$ と $g_{mv} = 0.004$ の時の倒立時の角度のグラフが図 3 になるが，グラフで比較する限り $g_{mv} = 0.004$ の方が少し不安定であるということが分かる．次に図 4 が手による外乱を加えた時の角度のグラフになるが，$g_{mv} = 0.000$ のときは転倒してしまうことが分かる．このことから g_{mv} に値を与えることで倒立の安定性が増すということが分かる．よって本研究では倒立実験を行った結果高い安定性が観測された点である $g_{mv} = 0.004$ を採用する．

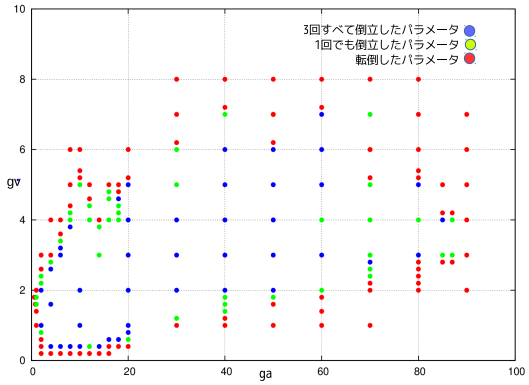

図 2: $g_{mv} = 0.000$ のときの倒立の安定範囲

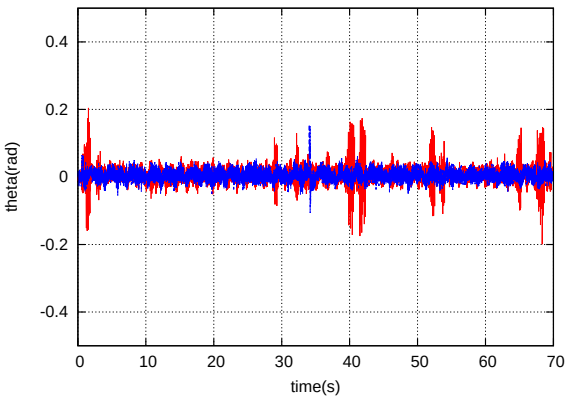

図 3: g_{mv}=0.000(青線),0.004(赤線) の時の倒立時の角度比較

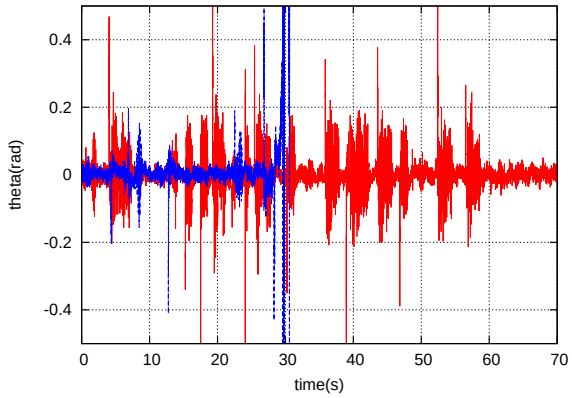

図 4: 外乱を加えた時の g_{mv}=0.000(青線),0.004(赤線) の時の倒立時の角度比較

2.2 前進のため制御式

倒立振子ロボットを前進させるための制御式が (3) 式になる.

$$m_{run}(t) = m(t) + g_T \tag{3}$$

この値はモータの速度を $-100 \sim 100\%$ で表したものとなっている. 倒立振子の制御式である $m(t)$ に定数である g_T を足すことで倒立しながら前進させる. g_T の値は任意の値を入れて実験を行い, ロボットを動かした時に以下の図 5 のように壁に支えられた状態で前進するような値を探した. 本実験では, g_T の値を 16%に設定した.

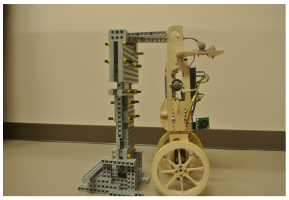

図 5: 倒立振子ロボットの初期位置

2.3 円軌道のための感覚速度写像

円軌道のための感覚速度写像式は (4),(5) 式のようになる. これは先行研究で用いられたものと同じものを用いる. [2]

$$r_{\mathrm{L}} = (r_{\max} - c) \cdot \tanh\left(\frac{g \cdot s_{\mathrm{R}}}{r_{\max} - c}\right) + c \tag{4}$$

$$r_{\mathrm{R}} = (r_{\max} - c) \cdot \tanh\left(\frac{g \cdot (d - s_{\mathrm{R}})}{r_{\max} - c}\right) + c \tag{5}$$

(4) 式は (5) 式によって壁から離れ過ぎないように左側のモータの出力 r_L を調整する式である. (5) 式は壁に沿って走行させるために右側（壁側）のモータの出力 r_R を調整する式である. この r_L と r_R を m_{run} に掛けることで左右のモータ (m_L, m_R) を制御する. その式が (6),(7) 式となる. 数式中の記号や文字の意味は表 1 に示す.

$$m_L = m_{run} \cdot r_L \tag{6}$$

$$m_R = m_{run} \cdot r_R \tag{7}$$

記号	意味
$r_{\mathrm{L}}, r_{\mathrm{R}}$	左右のモータの制御値
$r_{\max}$	モータ制御値の最大値（0.5）
s_{R}	右前方に付けた超音波センサ値 [mm]
g	ゲイン（0.14）
c, d	調整用パラメータ（15.0, 600.0）

表 1: 各記号の意味（円軌道のための感覚速度写像）

3 走行実験

倒立振子ロボットを用い円形のコースの走行実験を行った. 使用するコースは, 先行研究 [2] で用いたコースを用いる. コース半径は 2000mm である. 本研究では倒立振子ロボットの初期配置は先行研究では壁との距離が 250mm であったため本研究では初期配置を 250mm と 300mm で実験する. 300mm でも実験する理由としては本研究で使用する超音波センサは仕様上 160mm から測定可能であるため壁との距離が近すぎるとセンサーが正確な値を取りづらいのではないかと考えたためである. ゲインの値は $g_a = 4, g_v = 1.6, g_{mv} = 0.004$ を用いた. 本研究ではコースを走行した時の軌跡と, 走行している時の倒立振子の姿勢を調べるために本体の角度, また走行中の超音波センサの値も調査する.

3.1 実験結果

図 6 が倒立振子ロボットが円形の壁の内側を走行した時の軌道である. 250mm のときは転倒したが, 300mm の時は 3 分以上走行させることが出来た. しかし図 6 から分かる通り完全には壁との距離を保ち走行できていないことが分かる.

次に走行時の超音波センサの値を図 7 に示す. 250mm のグラフを見ると超音波センサの値は 240mm 付近を振動した後突然値が大きくなっていることが分かる. また 300mm のグラフに関しては超音波センサの値が 250mm から 300mm を振動し

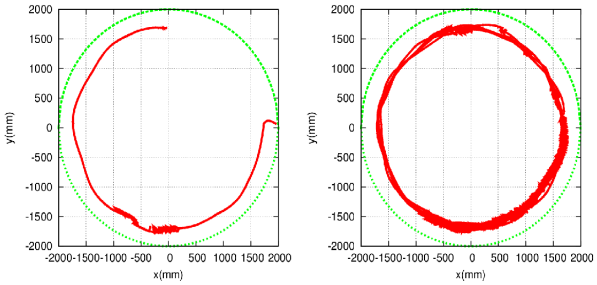

図 6: 初期配置 250mm(左),300mm(右) の時の倒立振子ロボットの軌道

ていることからやはり完全には壁との距離が保たれていない．

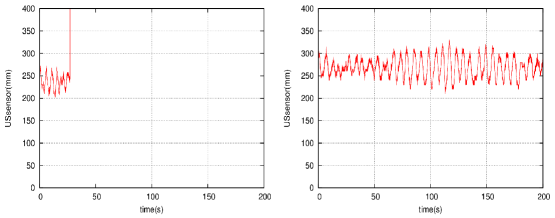

図 7: 初期配置 250mm(左),300mm(右) の時の超音波センサの値

次に走行時のロボット本体の角度の値を図 8 に示す．倒立している場合，2 つのグラフを見比べてみると角度の変化は大きな違いが無いことがわかる．

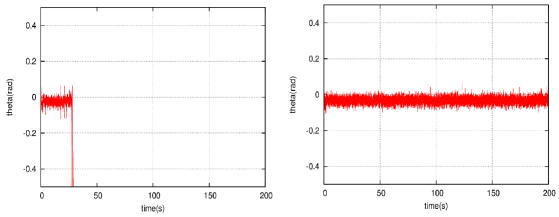

図 8: 初期配置 250mm(左),300mm(右) の時のロボットの角度

3.2 3 輪型走行ロボットとの比較

倒立振子ロボットと同じ超音波センサとモータ，同じ感覚速度写像のパラメータを用いた時の 3 輪ロボットの軌道が図 9 のようになる．グラフから分かる通り初期位置が 250mm の時は一周ほど走行できている．しかし 300mm の時は 3 輪ロボットは半周ほどしか走行できていないが，倒立振子ロボットは 3 分以上走行することができた．この 3 輪ロボットでは感覚速度写像のパラメータを変えても 3 分以上の走行をすることが出来なかった．また 3 輪ロボットと比べて倒立振子ロボットは壁との距離を一定に保ちながら走行しているということも分かる．

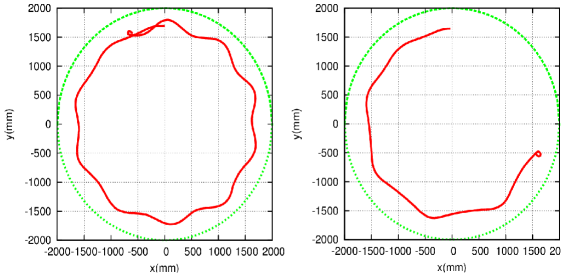

図 9: 初期配置 250mm(左),300mm(右) の時の 3 輪ロボットの軌道

3.3 考察

初期配置が 250mm の時に転倒して，300mm の時に 3 分以上の走行に成功した理由として使用した超音波センサの値が十分安定していたことによるものであると考える．図 7 から分かる通り超音波センサの値が突然大きく変化したためモータの制御しきれなくなったためである．また先行研究 [2] と比較すると十分な円軌道が描かれていないということが分かる．ロボットが壁との距離を完全に一定に保ち走行できなかった理由として円軌道のための感覚速度写像式のパラメータの調整不足であると考えられる．本研究ではロボットの初期配置についてのみ調整を行っていた．

4 まとめ

倒立振子ロボットを用いて円形のコースを走行させることができた．今回の実験では壁との初期位置を 300mm でのみ，今後 1 次元交通流実験を行う上での目安である 3 分間以上走行させることが出来たが，壁との距離がなるべく近くになるように，またなるべくコースを綺麗に沿いながら走行できるようにパラメータの調節を行う必要がある．また複数台の 1 次元交通流実験を行うために倒立振子ロボットを複数台用意し，ロボットに最適速度モデルを実装し先行研究で行っていた 3 輪型の走行ロボット [2] との運動の違いを比較する．

参考文献

[1] 只木進一, 菊池誠, 福井稔, 中山章宏, 西成活裕, 柴田章博, 杉山雄規, 吉田立, 湯川諭, 第 19 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集,65-68,(2013).

[2] 田中啓太郎, 佐々木卓哉, 本田泰, 超音波センサを用いた感覚運動写像による一次元最適速度ロボット, 第 20 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集,(2014)