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

二次元最適速度ロボットによる集団ひも状走行の安定性

メタデータ	言語: jpn
	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: 若月, ある, 川野, 多佳也, 宮島, 高志, 本田, 泰
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00010216

二次元最適速度ロボットによる集団ひも状走行の安定性

若月ある [1]，川野多佳也 [1]，宮島高志 [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

2 次元最適速度モデルという自己駆動モデルを知能として組み込んだロボットを開発し，これらのロボットが相互作用によってひも状の集団運動を形成することを明らかにした．単純な円形のフィールド上での 4 台ロボットを用いた実験において，安定した紐状の運動を形成することが確かめられ，主に感応度 (a) と最適速度関数の変化率 (β) が紐状走行の形成条件に大きく関わっていることを明らかにした．また，360 °カメラによるロボット検出を用いて，より広い領域における観測の可能性を示した．

Stability of collective string-like traveling by two-dimensional optimum velocity robot

Aru Wakatsuki[1],Takaya Kawano[1],Takashi Miyajima[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

The purpose of this research is to develop a robot incorporating a self-driven model called a two-dimensional optimal velocity model as an intelligence, and to confirm that these robots can form string-like collective motion by interaction. In our experiments using four robots on a simple circular field, it was confirmed that a sensitivity (a) and rate of change of the OVfunction (β) play an important role for making the string-like collective motion And we show the possibility to observe the location of robots by using 360 ℃camera in more wide space.

1 はじめに

鳥や魚などといった生物 (自己駆動粒子) の集団運動は，各個体の相互作用によって自己組織的に形成される．このような例として車の運動を単純な運動方程式で表した最適速度モデルがある．同モデルのシミュレーション結果および実験から信号やトンネルなどといったボトルネックがなくとも交通渋滞が引き起こされることが示された [1][2]．同モデルは次元を 2 次元に拡張した 2 次元最適速度モデルも多数提案されている．同モデルのシミュレーション結果から，迷路上の空間での 2 次元最適速度粒子は周期境界，あるいは弾性境界を接続するような最適な経路上で準安定な紐状の粒子運動が形成されることが知られている [3][4][5]．このモデルの特徴は迷路上でも自律的に粒子が最適な経路を見つけ出すことにある．

現実の世界では自己駆動粒子には大きさや質量があり，さらに個体差や時間遅れ，ノイズなども存在し，それらの影響も有りシミュレーションの結果をそのまますぐに実現できるとは限らない．アルゴリズムを明確化したロボットを多数使った実験を行うことによって，それらの影響を明らかにすることが

できる．

本研究の目的は 2 次元最適速度モデルを組み込んだ 2 次元最適速度ロボットを開発し，ロボット同士の相互作用によって集団紐状走行が生み出されるのかをまず確かめることにある．さらに発展して紐状走行の安定性を定量化する手法を提案し，形成されうる紐状走行の形状やその安定性がパラメータに対してどのように依存するかを調べる．

2　2 次元最適速度ロボット

2.1　2 次元最適速度モデル

2 次元最適速度モデルは以下の運動方程式 (1) で表される [3][4]．$\mathbf{x}_j$ は j 番目のロボットの位置を表す．$\mathbf{r}_{kj} \equiv \mathbf{x}_k - \mathbf{x}_j$ と $r_{kj} \equiv |\mathbf{r}_{kj}|$ は，それぞれの k 番目と j 番目のロボットの位置の変位ベクトルとその大きさを表す．a は感応度を表す．k は最近接のロボットを選ぶ．

$$\ddot{\mathbf{x}}_j = a\left[\sum_k \mathbf{V}(\mathbf{r}_{kj}, \dot{\mathbf{x}}_j) - \dot{\mathbf{x}}_j\right] \tag{1}$$

$\mathbf{V}(\mathbf{r}_{kj},\dot{\mathbf{x}}_j)$ は j 番目のロボットが k 番目のロボットから受ける相互作用項である．$\mathbf{n}_{kj}$ は $\mathbf{r}_{kj}$ の単位ベクトルである．θ_{kj} は j 番目のロボットの速度ベクトル $\dot{\mathbf{x}}_j$ と相対位置 $\mathbf{r}_{kj}$ のなす角度である (図 1 参照)．

$$\mathbf{V}(\mathbf{r}_{kj}, \dot{\mathbf{x}}_j) = (1 + \cos\theta_{kj}) f(r_{kj}) \mathbf{n}_{kj} \tag{2}$$

$f(r_{kj})$ は最適速度関数であり，ロボットとの距離 r_{kj} に応じて引力，斥力を決定する関数である．

$$f(r_{kj}) = \alpha\left[\tanh\beta(r_{kj} - b) + c\right] \tag{3}$$

2.2　2 次元最適速度アルゴリズム

2 輪ロボットに本モデルを組み込むためのアルゴリズムを考える．Δt 秒後の $\dot{\mathbf{x}}_j$ を離散化して求めると式 (4) となる．

$$\dot{\mathbf{x}}_j(t + \Delta t) = \dot{\mathbf{x}}_j(t) + \Delta t \ddot{\mathbf{x}}_j(t) \tag{4}$$

両輪の接地面での速度 v_{L},v_{R} を式 (5)(6) で求める．

$$v_{\mathrm{R}}(t) = \dot{x}_j(t) + d\Delta\theta/\Delta t \tag{5}$$

$$v_{\mathrm{L}}(t) = \dot{x}_j(t) - d\Delta\theta/\Delta t \tag{6}$$

$\Delta\theta$ は $\dot{\mathbf{x}}_j(t)$ と $\dot{\mathbf{x}}_j(t+\Delta t)$ のなす角度である．z 成分を 0 とした三次元ベクトル $\dot{\mathbf{x}}_j(t)$ と $\dot{\mathbf{x}}_j(t+\Delta t)$ の外積ベクトルの z 成分を $\dot{\mathbf{x}}_j(t) \times \dot{\mathbf{x}}_j(t+\Delta t)$ と定義する．d は車輪のロボット中心からの距離である．

$$\Delta\theta = \mathrm{sgn}(\dot{\mathbf{x}}_j(t+\Delta t) \times \dot{\mathbf{x}}_j(t)) \cdot \cos^{-1}\frac{\dot{\mathbf{x}}_j(t) \cdot \dot{\mathbf{x}}_j(t+\Delta t)}{\dot{x}_j(t)\dot{x}_j(t+\Delta t)} \tag{7}$$

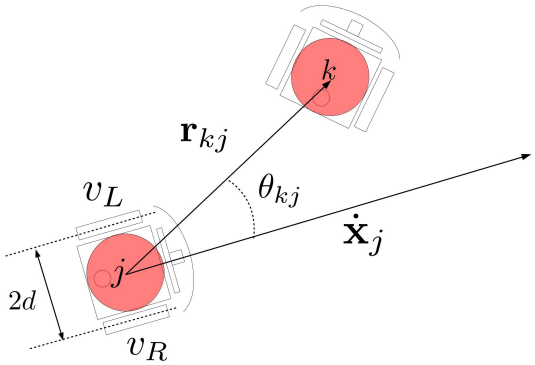

図 1: θ_{kj} と r_{kj} を図で捉える

3　実験結果

半径 2[m] の円形のフィールド内で実験を行った．使用したロボット 4 台の身体性は先行研究 [6] と同じである．円周上は壁になっておりロボットが衝突した際，弾性反射をする仕組みである．ロボットは初期位置として手動でランダムに置き初速度 0[m/s] で一斉に動作させ，最大 5 分間計測する．

パラメータ $\alpha = 0.075$，$c = 1.0$，$b = 0.15$ を固定した．ロボットは最大 2[m] までの他のロボットと相互作用し，物体を認識しないときは進行方向無限遠方に物体が見えているものとしている．a と β を変化させた時のロボットの集団運動を見る．

紐状走行というのは，先頭ロボットが直線的に走行し，他ロボットがその後を追従するような走行状態である．紐状走行が安定するということはこのような状態が長時間維持されるということである．そこで紐状走行の状態を定量化する量として，$q_s(t)$ を定義し，式 (8) よりこの値が 1 に近い程安定と見なす．

$$q_s(t) \equiv \prod_{j=1}^{N} \cos(\varphi_j(t)) \tag{8}$$

N はロボットの台数である．j 番目のロボットの $\varphi_j(t)$ は式 (9) で定義する．

$$\varphi_j(t) \equiv \begin{cases} \theta_{kj}(t) & \\ \pi/2 & \text{(物体を認識できない時)} \\ 0 & \text{(先頭のロボット)} \end{cases} \tag{9}$$

$\theta_{kj}(t)$ は図 (1) で定義されている角度である．$\varphi_j(t)$ は 1 台ロボットのみ 0 となることを許す．$q_s(t)$ は値が大きいほどより直線的な紐状となり，低い場合は曲がった紐状となることを意味する．

各パラメータごとの $q_s(t)$ と $r_{kj}(t)$ の実験終了直前の 120 秒分の時間平均 $\langle q_s \rangle$ と $\langle r_{kj} \rangle$ を a と β の空間でプロットしたのが図 2，3 である．実験データは，各パラメータごとに複数回実験したのち最新のデータを適用する．赤い丸の点が 1 回，緑の三角の点が 3 回実験の平均を出している．

図 2 を見ると全体的な傾向として，$2 < a < 5$，$0.25 < \beta < 4.0$ 範囲が特に安定性が高い範囲になっている．特に $a = 3$ の時が安定の範囲が広くなっている．$\langle q_s \rangle$ の高い範囲はほぼ固まっているが，一部で飛び出た形になっている．

図 3 は $3 < a < 5$，$2.0 < \beta < 8.0$ 範囲が車間距離が特に短くなっている．

この 2 つの図より，長すぎる車間距離は $q_s(t)$ の値が安定していない事が多い．これは長すぎる紐状は壁の存在により湾曲した形状になりやすく長時間の維持ができない為，短い長さの方が安定しやすい．

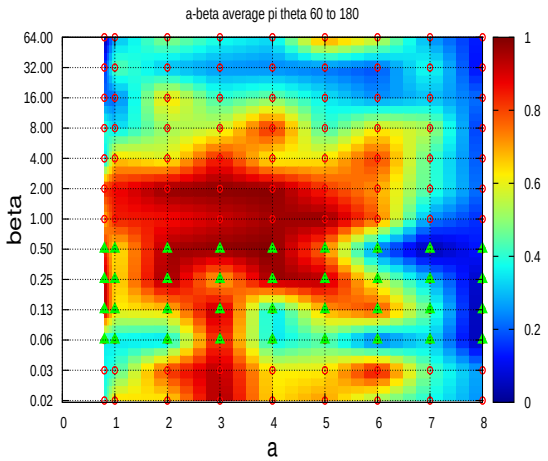

図 2: a-β 空間における $\langle q_s \rangle$ の等高線プロット．横軸は a，縦軸 β．

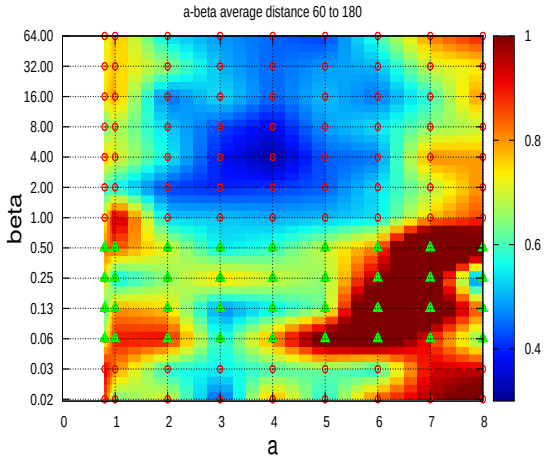

図 3: a-β 空間における $\langle r_{kj} \rangle$ の等高線プロット

4　360 °カメラによる座標取得

4.1　映像からの座標取得

今後の実験で, 壁の影響の少ない条件を調べる必要がある．また先行研究で報告されたような迷路上のフィールドで最適経路を結ぶような紐状形態ができるのか，実験で確かめていく必要がある．そのためには，更に広い範囲を走行させる必要が出てくる。その際, モーションキャプチャは設置位置が固定されてしまっているため、実験をする際ロボットが計測範囲外に出てしまう可能性がある. そのため，360 °カメラ (PIXPRO SP360 4K) を使用して, モーションキャプチャを使わず座標取得を出来ないか実験を行った. カメラの解像度は 1440 × 1440 の画像を用いた.

カメラ映像から座標取得する際，OpenCV のトラッキング（Boosting）と呼ばれる技術を用いて対象の追跡を行った。

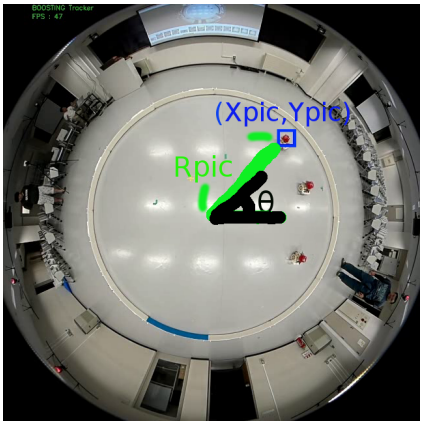

図 4: 映像から座標追跡の様子

4.2 取得方法

図 4 より，画面上の中心を原点として，X_{pic}, Y_{pic} は青枠で囲った対象の画面上の座標．R_{pic} は画面上の原点から対象までの距離．θ は角度．X_{real}, Y_{real} は対象の現実での座標．R_{real} は現実のカメラの真下から対象までの距離を示している．X_{real}, Y_{real} を式 (10) に示した．画像から R_{real} を求める際，カメラの歪みを考慮して最小二乗法を使い，式 (11) の，固定値 e, f を求めた．

$$\begin{cases} X_{real} = R_{pic}\cos(\theta) \\ Y_{real} = R_{pic}\sin(\theta) \end{cases} \tag{10}$$

$$R_{real} = f * \tan\left((\frac{\pi}{2}) * (\frac{R_{pic}}{720})e\right) \tag{11}$$

4.3 座標取得の実験結果

半径 2[m] の円形フィールド内のロボットの位置の座標を，モーションキャプチャ(紫) と 360 °カメラの動画から得た座標 (緑) をグラフ化したものを図 5 に示す．ロボットの軌跡を追うだけなら、カメラ映像からでも十分可能であることが分かった．これによりモーションキャプチャの範囲外で測定になったとしても，ある程度の軌跡を出すことが可能になる．

しかしまだ問題もあり，完璧に正確とは言えず，多少軌跡は乱れてしまっている．これは天井からの光の反射で対象の映りが悪かったり，トラッキングの精度自体の問題と考えられる．

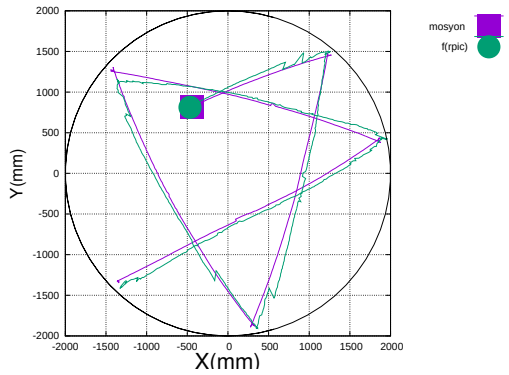

図 5: モーションキャプチャと 360 °カメラによる軌跡の比較

5 まとめ

4 台ロボットを用いて円形のフィールド上でロボット同士の相互作用による紐状走行について走行実験を行い，感応度 a と最適速度関数の変化率 β について詳しく調べた．紐状集団運動が安定するパラメータ範囲は $2 < a < 5$, $0.25 < \beta < 4$ であることが明らかになった．

感応度を上げ過ぎるとひもが形成されない原因はカメラやサーボの時間遅れによりロボットが蛇行走行することが考えられる．また形成されるひも状が長時間維持できるかどうかは形成されるひもの長さに影響されると考えられる．

本研究では，$a - \beta$ 空間における紐状走行の安定領域の概略が明らかになった．今後更に詳細を明らかにする必要がある．

また本研究をさらに発展させて，今後先行研究で報告されたような迷路上のフィールドで最適経路を結ぶような紐状形態ができるのか，興味深い．また今後の課題としてシミュレーションの結果と，実世界との安定する範囲の違いを比較したい．

参考文献

[1] M.Bando，K.Hasebe，A.Nakayama，A.Shibata，Y.Sugiyama，PHYSICAL REVIEW E 51，1035-1042，(1995).

[2] 田中啓太郎，最適速度ロボットの 1 次元交通流における安全距離の効果，室蘭工業大学 情報電子工学系専攻 修士論文 (2015)

[3] 石渡龍輔，衣川亮太，杉山雄規，迷路内での 2 次元 OV 粒子の集団運動の Kantorovic metric を用いた解析，第 20 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集，p59-62，(2014).

[4] 石渡龍輔，衣川亮太，杉山雄規，Kantorovich metric を用いた 2 次元 OV 粒子の集団流の感応度依存性の解析，第 22 回交通流と自己駆動粒子系シンポジウム論文集，p41-44，(2016)

[5] 大島吉雄，杉山雄規，2 次元最適速度モデルを用いた迷路の経路探索，第 14 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集，(2016)

[6] 川野多佳也，宮島高志，本田 泰，二次元最適速度ロボットの開発と集団走行実験，第 23 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集，(2017)