

非線形感覚運動写像ロボットの不完全対面流

-1方向走行流への転移と流量のコース幅依存性-

李 方正¹, 橋爪 晋平², 本田 泰³

¹ 室蘭工業大学大学院 工学研究科 情報電子工学系専攻

² 室蘭工業大学 工学部 情報電子工学系学科

³ 室蘭工業大学大学院 しきみ解明系領域

概要

昆虫の群れ行動や混雑した状況での人間の歩行など、自己駆動粒子の対面流(Counter flow)は広く存在する現象である。そこでは、レーン形成など自己組織化的な興味深い現象が観察される。本研究では、われわれは非線形関数(双曲線関数)による感覚運動写像ロボットを開発し、障害物回避可能な自己駆動粒子とみなす。そのロボットを使って、擬楕円コースでいくつかのコース幅の対面走行実験を行った。対面流から1方向流への自律的な転移現象が観測された。

ロボットの速度、流量および1方向流になるまでの時間を測定した。

Incomplete robots counter flow based on Non-linear sensory
motor mapping

-Transition to one-way flow and relations between course and flow rate-

Li Fangzheng¹, Shimpei Hashizume², Yasushi Honda³

¹ Division of Information and Electronic Engineering, Graduate School of Engineering, Muroran Institute of Technology, Japan

² Department Information and Electronic Engineering, School of Engineering, Muroran Institute of Technology, Japan

³ College of Information and Systems, Muroran Institute of Technology, Japan

Abstract

Counter flow of self-driving particles which include insect herd behavior and human walking in crowded situations is a widespread phenomenon. We found a interesting phenomena such as lane formation. In this research, we have developed sensorimotor mapping robot which can avoid obstacles using nonlinear function(hyperbolic function) and we regard those robots as self-driving particle.

Then we did some counter moving experiments using that robots with different course widths on 擬楕円 course, and we also observed the transition phenomenon from counter flow to one direction flow.

At last, we measured the speed of robots, flow rate and the time of transit to one direction flow.

1 はじめに

実世界で、蜂、アリなどの昆虫が簡単な振舞いや匂いで複雑な群れ行動ができる。大きな交差点で、人の密度が高いでも、皆は会話なくて、ぶつからないようにスムーズに対面走行ができる。その中に一体どんな知能が持っている、どのくらいの知能が必要だと知りたいので、我々は原生生物レベルの感覚と運動直接関連する感覚運動写像 [1] での障害物避ける振舞い、反応行動レベルの知能を持つ走行ロボットの対面走行を始めにその知能を解明するである。本稿では、tanh 関数を使い非線形感覚運動写像をモデルとし、ラズパイを基づく障害物を避ける走行ロボットを開発した。その走行ロボット(今回、最大8台使われる)を右回りと左回り(変曲点係数bで制御する)の2つグループを分けて楕円コースでの対面走行を実験して、変曲点の係数(b)と初期配置を変化させ、ロボットの振舞いを調査して、ロボットたちの時速、同じ流れになるまでの時間と流量などロボットの基本的な走行情報を測定し、one direction flow 状態を観測した。

2 口ボットの構造

2.1 口ボットの身体性

今回使っているのは4輪木造走行ロボットである、人間や昆虫の走行特徴に近似するため、左右の車輪は左右のモーターで独自に制御して、超信地旋回できるようになる。tof 距離センサーが赤外線の反射で距離を測るので、超音波より測る範囲が狭いけど、体積が小さく、精度が高くて、複数ロボットの場合、ロボット同士間の妨害も減少できる。

走行ロボットの正面図と俯瞰図：

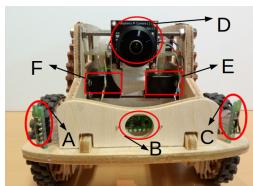


図 1: 正面図



図 2: 俯瞰図

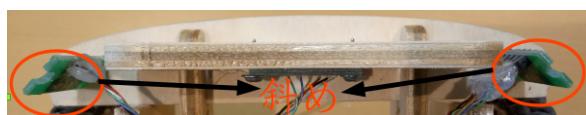


図 3: 左右のセンサー角度表示

A:右の距離センサー;B:中央の距離センサー;C:左の距離センサー;D:カメラ(使っていない);E:右モーター;F:左モーター; 制御システム:ラズパイ; 左右センサー角度:45°; ロボット幅:13.5; ロボット長さ:20.2; ロボット高さ:12.2;

2.2 ロボット駆動アルゴリズム

感覚運動写像とは、センサー値を変数とする関数によってモーターの出力を決定することであり、その瞬間のセンサー値だけを使う、最も単純な反応行動のための知能の一つである。本研究では、非線形感覚運動写像モデルが使われている。

2.3 距離データの加重相乗平均

中央のセンサーによる距離データを d_C 、また、左のセンサーによる距離データを d_L とする。それらを用いて、左の感覚運動写像の入力 x_L を加重相乗平均によって求める(式1)。同じように、 d_C と右のセンサーから得られた距離データ d_R を用いて右の感覚運動写像の入力 x_R を求める(式2)。

$$x_L = d_C^\gamma \times d_L^{(1-\gamma)} \quad (1)$$

$$x_R = d_C^\gamma \times d_R^{(1-\gamma)} \quad (2)$$

γ は重みであり、本研究においては $\gamma = 0.33$ とする。 $\gamma = \frac{1}{3}$ とすることにより、左のセンサー、中央のセンサーおよび右のセンサーがそれぞれ、 $\frac{2}{3}$ の等加重となる。

2.4 感覚運動写像

(式1)と(式2)で得られた x_L と x_R を(式3)と(式4)に代入して、ロボットの右モーターの出力(m_R)と左モーターの出力(m_L)が計算する。係数 α がロボットの最大速度を制御する、係数 β が tanh の傾きを制御する、係数 b が関数の変曲点の位置を制御する、係数 c が関数の縦軸上の位置を制御する。

$$\begin{aligned} m_R &= \alpha \tanh(\beta_1(x_L - b_L)) + \\ &\quad \alpha \tanh(\beta_2(x_L - b_L)) + c \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} m_L &= \alpha \tanh(\beta_1(x_R - b_R)) + \\ &\quad \alpha \tanh(\beta_2(x_R - b_R)) + c \end{aligned} \quad (4)$$

今回の実験のパラメータは $\alpha : 30$ 、 $\beta_1 : 0.004$ 、 $\beta_2 : 10$ 、 $c : 0$ 。ロボットグループ1の b_L とロボットグループ2の $b_R : 160$ 。ロボットグループ2の b_L とロボットグループ1の $b_R : 260$ 。

2.5 パラメーター b の説明

$b_L = 260$ (図 4 の B 点), $b_R = 160$ (図 4 の A 点)の場合, $b_L = 260$ の tanh 関数の変曲点が $b_L = 160$ の tanh 関数の変曲点より横軸の正方向に 100 移動して(図 4 の B 点), $x - b_L$ が小さくなる, 式 (3) により, 右のモーターが左のモーターより先に速度を減少するので, ロボットが右曲がりやすいである, 左曲がり易い

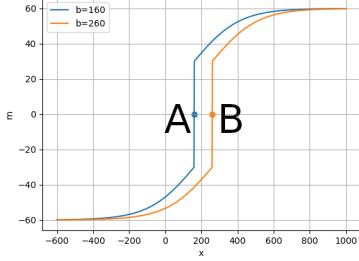


図 4: $b = 160$ と $b = 260$ の tanh 関数の曲線

3 走行実験

直線とカーブ両方あり, 周期境界条件を持ち複数の対面走行できるように, 楕円コースで実験する. コースの中(青い部分)にロボットをランダムに配置し, 半数のロボットが右回り($b_L > b_R$), 残りのロボットが左回り($b_L < b_R$)の向きで, 速度 0 からほぼ同時にスタート, 約 8 分間実験する.

ロボットが tof 距離センサーでコースの障害物までの距離を測って, 非線形感覚運動写像モデルにより走行する.

コースの青い部分の中央(図 6 黒い線)でコースの長さを測る, コースの長さ(L)は 7.32m, 今回ロボットの台数(N)は 8 台. ロボットの線密度 $\rho = \frac{N}{L} = 1.09$ (台/m)

両側の壁を移動させて, コースの幅(w)を 43cm, 49.5cm, 56cm, 62.5cm, 69cm へ変化させ, 実験する.

$$Q_i = \frac{|n_i|}{wT_{sd}} \quad (5)$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{N_{exp}} \sum_{i=1}^{N_{exp}} Q_i \quad (6)$$

図 (5) の赤い線を計測ラインとして, ロボットが左から右へ線を通過したら流量 + 1, 右から左へ線を通過したら流量 -1. 図 (6) の横軸が時間(秒), 縦軸

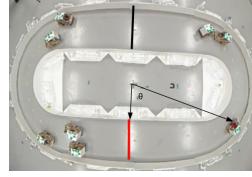


図 5: 実験の様子と
 θ の説明

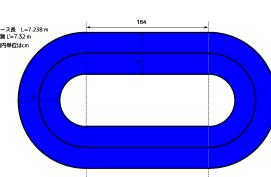


図 6: コースレイアウト

がコース中心からみたロボットの位置角度 θ (図 (5)), ロボットが赤い線から反時計回りで黒い線まで, θ が 0 から π に変わる. 赤い線から時計回りで黒い線まで, θ が 0 から $-\pi$ に変わる. 計測ライン(赤い線)を通過して, 台数(n)を計測する. T_{sd} は one direction flow 状態になる時間(分), w がコースの幅(単位:m), Q が流量, 式 (6) で流量を計算する.

4 実験結果

4.1 T_{sd} の測定

図 7 は 8 個ロボットの θ (図 5) と時間の関係図である, 横軸は時間(秒), 縦軸は角度 θ である.

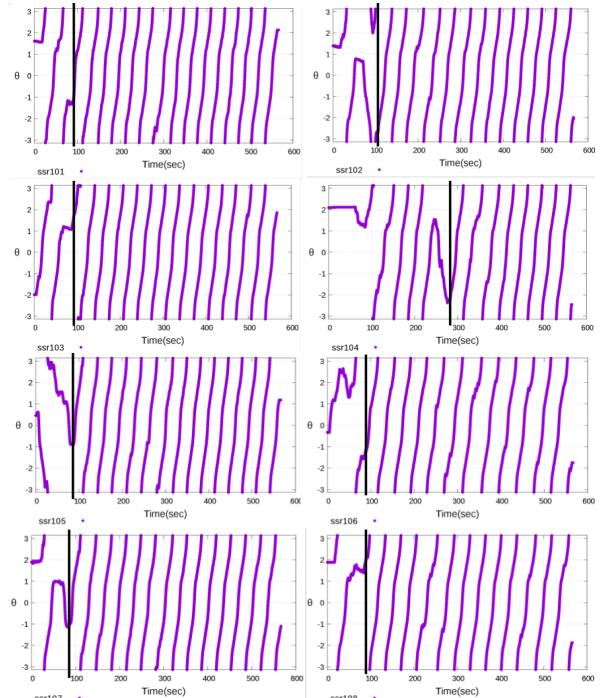


図 7: コース中心から見たロボットの角度 θ の時間変化

T_{sd} とは全てのロボットが方向転換せず, 同じ向きで走る状態になる時間である, 図 7 中の黒い線はロボットが方向転換しなくなるまでの時間, その中

で一番長いものを T_{sd} とする .

4.2 初期配置と時速

初期配置 : ロボットの位置はランダムで , グループ 1 のロボットが左回りの向き , グループ 2 のロボットが右回りの向き .

各ロボットが一台で 5 周回って , $v = \frac{5*L}{t}$ で時速を計算する (v : 時速, L : コースの長さ, t : 5 周回る時間) . 時速の平均値 \bar{v} : 13.125m/min; 標準偏差 (s): 51.384

4.3 幅による T_{sd} と流量の測定

コースの幅が 5 つあり , それぞれの幅で十回 (毎回 8 分間) 実験する , 一実験毎に , ランダムでロボットを 2 つグループを分ける . T_{sd} と流量 (Q) を計測して , 平均値と標準偏差を計算する .

図 8 はコース幅 (w) による , T_{sd} 平均値の変化曲線である . 図 9 がコース幅による , 平均流量 (Q) の変化曲線である .

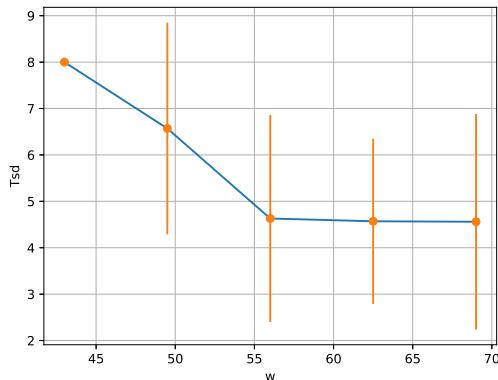


図 8: コース幅 w と T_{sd} の関係

幅が狭すぎる (43cm) と , 長時間の渋滞が発生することを観測した , ロボット同士のすれ違い , 方向転換ができず , one direction flow の状態にならなかつた . 大渋滞なので , 流量もほとんどない . 49.5cm の場合 , 渋滞も発生したので , one direction flow 状態になる時間 (T_{sd}) も長かったが , ロボットが方向転換できたので , 流量も多少増えた . 56cm から渋滞の発生が急激に減少し , ロボットの方向転換もしやすくなり , T_{sd} が減少し . 以降コース幅が拡大しても , T_{sd} に明らかな変化が見られなくなった . 56cm まで平均流量が増えて , 62.5cm の場合 , 平均流量が多少減少したと観測した .

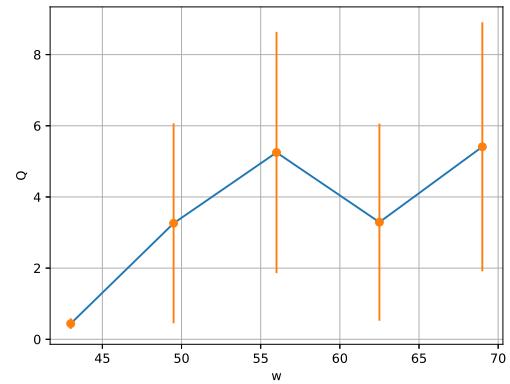


図 9: Q とコース幅の関係

5 まとめ

本研究で使っているロボットは他のロボットを追いかける機能はついてない . それにもかかわらず , 単純な障害物回避アルゴリズムによって , 最終的に 1 方向走行流の状態になるとわかった .

対面走行流から 1 方向走行流への転移が起こるまでの時間を観測した . コース幅が十分に大きくなると , その転移時間は一定となる傾向を見出した .

また , コース幅が十分に大きくなると流量も一定になる傾向があることを観測した . コース幅が 62.5cm の場合 , 流量が減っていたことの原因は実験回数の誤差であるか , または他の原因か , これから調べる必要がある .

実世界のアリ , 蜂などの昆虫の匂いで作られたコースのような空間の中 , 単純な障害物を避ける行為で自動的にレーン形成したことと類似の現象が観測されたと考えられる .

今後の実験で , ロボットの線密度を増やすことによって , より実世界の昆虫のレーン行動と類似の行動が観測されると予測される .

参考文献

- [1] 浅田稔, 国吉康夫. 「ロボットインテリジェンス」 P1-59,(2006).
- [2] 山田将司, 大園章宏, 本田泰. 2 次元最適速度ロボットの多様な集団紐状走行. 第 25 回交通流と自己駆動粒子系シンポジウム論文集.(2019)
- [3] 池田光佑, 金鋼. 対向する自己駆動粒子系におけるレーン形成とその動的な転移の解明.(2016)

[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.(2016)

[5] 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.(2017)