

非線型感覚運動写像ロボットによるゴミ集め行動の創発

岩田 耕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

超音波センサを用いた交差興奮性の非線型感覚運動写像によって、複数のロボットがどのような身体性であればゴミを集める協調行動が創発されるのかを検証した。2つの双曲線関数を組み合わせることにより、壁やゴミなどの障害物を効率的に回避することが可能となった。8台のロボットによる実験を行い、モーションキャプチャを用いて物体の位置情報を取得した。ロボット相互および壁との衝突を回避しながら複数のゴミを集約する協調行動を創発することが可能であることがわかった。

Emergence of a garbage-collection behavior by multi-robots with a nonlinear sensory-motor mapping

Kou Iwata¹, Yasushi Honda²

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 robot with a sensory-motor mapping using ultra-sonic sensors. A nonlinear function is used as the mapping. It is found that a combination of two kinds of hyperbolic function enables the robot to avoid obstacles like a wall or garbage. We found requirements in both of body structure and sensory-motor mapping for emergence of a garbage collection. In the conducted experiments with eight robots, the positional information of the object is obtained using the motion capture and is compared with initial position of the objects. It is found that the robots emerge cooperative behavior that is a garbage-collection behavior avoiding wall and other robots.

1 はじめに

知能ロボットには反応行動、計画行動、適応行動、協調行動などの知的行動を行う能力が望まれる。これらの知的行動ができる知能ロボットを実現するためには、推定した原理に基づき知能と身体を作り、実際の環境の中で動かしてみる”構成論”が不可欠となる [1].

本研究では知的ロボットによる協調行動としてゴミ集め行動を創発するために必要な非線型感覚運動写像とロボットの身体性について調べた。

ここでいう”ゴミ集め”とは、床に散乱したゴミを模し

た紙コップを2個以上にまとめることである。

ゴミ集めロボットは Swiss Robot として Maris, M, Pfeifer らによって開発され [2][3], 国内でも研究が進められてきた [4]. これらの先行研究と本研究との違いを表 1 に示す。本研究では、2つの双曲線関数を組み合わせることにより、ロボットの動きが効率的になり、障害物を回避しやすくなると考えた。

本研究では2つの超音波センサを用いた交差興奮性の非線型感覚運動写像によって、複数のロボットが障害物を回避し、なおかつゴミを集める行動が創発されることを

示す.

	先行研究 [2][3]	先行研究 [4]	本研究
センサ	赤外線	赤外線	超音波
センサ数	4個	2個	2個
台数	3~5	1	8
出力式	閾値関数	閾値関数	双曲線 関数
最大速度	1m/s	—	0.2m/s
各走行時間	20分	5分	20分
フィールド	縦 2.3m, 横 2.6m の長方形	1辺 1.8m の正方形	半径 2m の円

表 1: 先行研究と本研究の違い

2 ゴミ集めロボット

ゴミ集めロボットは図 1 に示すレゴマインドストーム EV3(OS-Linux) を採用する. 本実験に用いるロボットが満たさなければならない条件は主に 2 つである.

- 壁や他のロボットには衝突しない
- ゴミがちょうど前方に接近した場合, そのまま衝突し, ゴミを運んで集める

以上 2 点を実現するためにゴミ集めロボットに超音波センサを 2 つ搭載し, 非線型感覚運動写像を導入する. さらに, 身体性の検証を行う.

このゴミ集めロボットは壁とゴミと他のロボットを全て障害物とみなすため, これらを見分けることは出来ない.



図 1: 超音波センサを 2 個搭載したゴミ集めロボット

2.1 反応行動のための知能

ゴミ集めロボットに障害物を回避させるため, 非線型感覚運動写像を導入する. 図 1 の前方に付けた超音波センサで障害物との距離を計測し, そのセンサ値に応じてモータ出力値を調節する. センサとモータは図 2 のように交差性結合とする.

非線型感覚運動写像の式を (1)~(6) 式に示す. (1)(4) 式は障害物回避を行うための式である. しかし, モータの出力値が $-10 < r < 10$ の値になるとロボットが止まってしまうことがあった. そのため, (2)(5) 式により, その領域の値を出力しづらくするようにした. この 2 つの式を合成し, 調整パラメータ d をさらに加算することで (3)(6) 式となり, 障害物を回避しつつ動き続けることが可能になった. 左右のモータには図 2 のようにそれぞれ (3) 式と (6) 式の値が出力される. 図 3 はこれらの式をグラフ化したもので, 縦軸はモータの出力値, 横軸はセンサ値を表す. 図 3 のようにモータの出力値がセンサ値に比例することを興奮性結合 [1] という. 数式中の記号や文字の意味は表 2 に示す. 図 4 のような円形の壁を作成した. ロボットはこの半径 2m の円の中を走行する.

記号	意味
r_L, r_R	左右のモータの出力値 [%]
s_L, s_R	左右の超音波センサの値 [mm]
b_1, b_2	モータの回転方向が変わる 超音波センサの値 (300,250)
g_1, g_2	ゲイン (0.02,10000)
c_1, c_2	調整用パラメータ (20,10)
d	調整用パラメータ (20)

表 2: 各記号の意味 (非線型感覚運動写像)

$$r_{L1} = c_1 \cdot \tanh(g_1 \cdot (s_R - b_1)) \quad (1)$$

$$r_{L2} = c_2 \cdot \tanh(g_2 \cdot (s_R - b_2)) \quad (2)$$

$$r_L = r_{L1} + r_{L2} + d \quad (3)$$

$$r_{R1} = c_1 \cdot \tanh(g_1 \cdot (s_L - b_1)) \quad (4)$$

$$r_{R2} = c_2 \cdot \tanh(g_2 \cdot (s_L - b_2)) \quad (5)$$

$$r_R = r_{R1} + r_{R2} + d \quad (6)$$

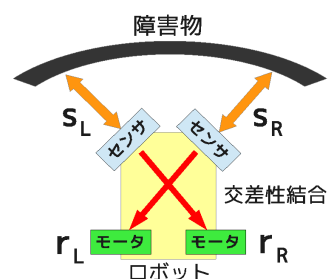


図 2: 交差性結合

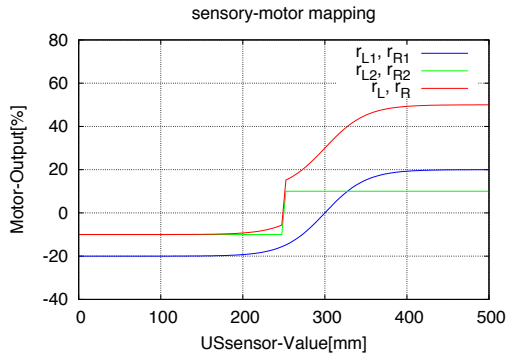


図 3: 非線型感覚運動写像によるモータ出力値

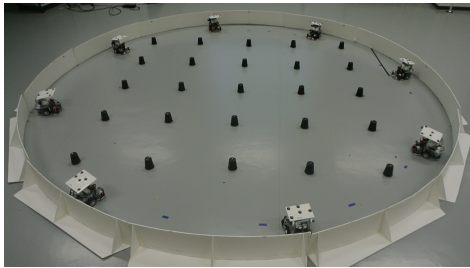


図 4: ロボットとゴミの初期位置

2.2 身体性

調整を行った身体性は以下の 4 点である。

- センサの向き
- 地面からセンサまでの高さ
- ロボットの中心からセンサのなす角度
- センサ同士の間隔

今回使用したセンサは EV3 超音波センサであり、検知距離は 1cm~50cm である。

センサの向きについて、地面と水平の向きと垂直の向きで検知できる角度に違いがあるか調査した結果、センサが水平の向きだと 50 度となり、垂直の向きよりも 5 度広いことがわかった。よって、センサの向きは地面と水平の向きとする。

地面からセンサまでの高さについて、図 5 のように、センサの下にはゴミを運ぶためのバンパーが位置している。そのため、センサの高さは床から 40mm がほぼ下限である。また、ゴミの高さが 80mm であるため、センサの高さを 80mm 付近にしてしまうとゴミを検知できなくなるだけでなく、超音波がロボットを反射しにくくなり、ロボット同士の衝突が増えてしまう。よって、センサの高さは 40mm とした。残りの 2 点については次節で記述する走行実験を通して調整していく。

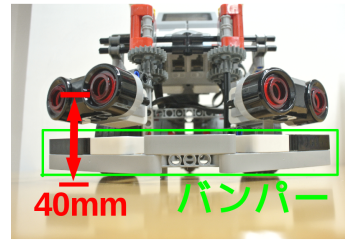


図 5: ロボットを正面から見た図

3 走行実験

8 台のゴミ集めロボットを用いてゴミ集め実験を行った。図 4 のように、壁で囲んだ領域にゴミ (底面半径 35mm, 上面半径 25mm, 高さ 80mm) を縦 5 個, 横 5 個の計 25 個置き、縦と横のゴミの間隔を 625mm で統一した。そして、壁際にコースの中心に向かって 8 台のロボットを置き、これらを初期配置とした。CLUSTERSSH を用いて 8 台のロボットを同時発進及び停止させた。1 回の実験時間は 20 分とした。ゴミの位置はモーションキャプチャで取得した。図 6~図 8 において、緑の線は壁を、赤い点はゴミの位置を示している。

3.1 センサ角度 30 度, センサ間 120mm の場合

図 6 の 20 分後のゴミの位置を見るとゴミが 3,4 個で集まっているのがわかる。だが、センサの角度が 30 度のため横が見えづらくなり、その結果ロボットが壁に斜めから衝突することが 20 分間で 30 回以上あった。それらによってずれた壁や外に出てしまったロボットは人間の手で直した。

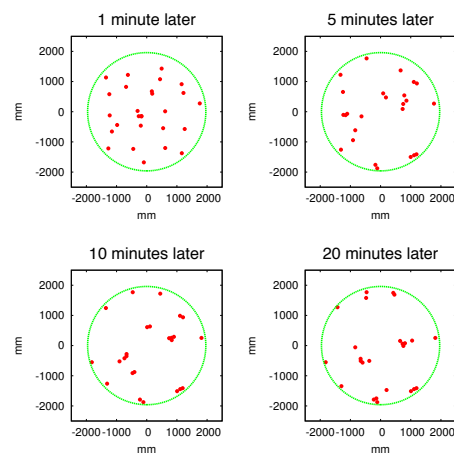


図 6: センサ角度 30 度, センサ間 120mm の場合のゴミの位置の変化の例 (1, 5, 10, 20 分後)

3.2 センサ角度 45 度, センサ間 120mm の場合

壁への衝突を無くすため, センサ角度を 45 度に変更した. 角度による違いを検証するため, センサ同士の間隔は 120mm のまま変えずに実験を行った. その結果, 壁に衝突することは無くなった. さらに, 図 7 のようにゴミを集めることができ, 孤立したゴミは 2 個になった.

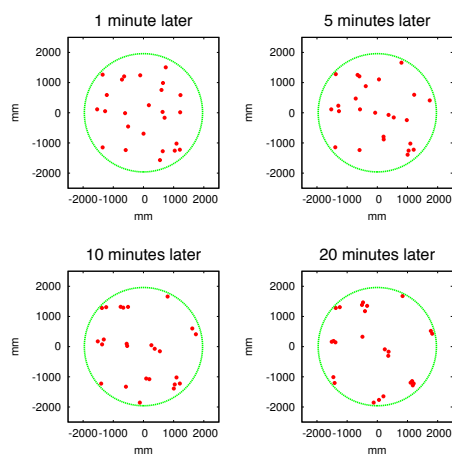


図 7: センサ角度 45 度, センサ間 120mm の場合のゴミの位置の変化の例 (1, 5, 10, 20 分後)

3.3 センサ角度 45 度, センサ間 170mm の場合

1 台のロボットが一度に 2~4 個のゴミを運んでいる光景がよく見られた. ロボットが壁に正面から衝突してしまうことが 7 回あり, 図 8 のように 20 分後にはほとんどのゴミが壁に寄ってしまった. ロボットの壁への衝突は全て正面からの衝突であった. それらによってずれた壁や外に出てしまったロボットは人間の手で直した.

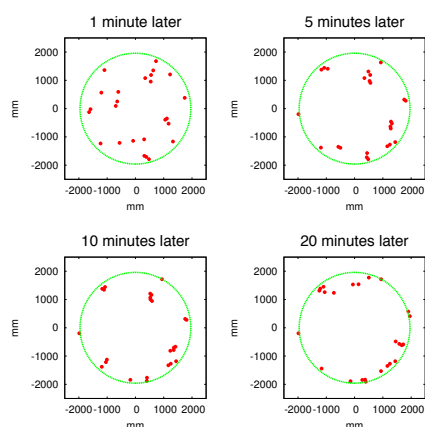


図 8: センサ角度 45 度, センサ間 170mm の場合のゴミの位置の変化の例 (1, 5, 10, 20 分後)

4 まとめ

ロボットの身体性の違いにより, 創発される行動に違いがあることがわかった. センサ角度 45 度, センサ間 120mm であれば, 壁や他のロボットに衝突すること無くゴミ集めという協調行動が創発されることがわかった. 先行研究 [2][3] に比べて最大速度が 1/5 にもかかわらず同じ 20 分でゴミが集まることわかった.

ロボットは壁とゴミと他のロボットを見分けることが出来ないため, これら全て障害物とみなす. しかし結果として, 全ての障害物の中で, ロボットの正面に来た時にセンサの有効範囲に入らず, なおかつロボットが押せる重さである「ゴミ」だけが集まった.

複数のロボットを走行させることで, ゴミに囲まれてその場から離れられなくなったロボットを別のロボットがそれらのゴミを動かして助けるという協調行動も見られた.

5 今後の課題

今後は, 知能と身体性は変えずに, 壁で囲んだ領域の中に新たに障害物を設置するなど, 異なる環境でもゴミ集め行動が創発されるのかを検証していく. 環境が変わってもゴミを集める適応性が求められる.

また, 半径 2m の円に対してロボットの台数は 8 台が最適であるのかを調べるため, ロボットの台数のみを変えて実験を行っていく.

参考文献

- [1] 浅田稔, 國吉康夫:ロボットインテリジェンス (2006 年).
- [2] Maris, M. and Boekhorst, R., “Exploiting physical constraints: heap formation through behavioral error in a group of robots”, Proceedings of 1996 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (1996), pp. 1655-1660.
- [3] Pfeifer, R. and Schemer, C., “Understanding Intelligence”, The MIT Press(1999).
- [4] 末岡 裕一郎, 杉本 靖博, 中西 大輔, 石川 将人, 大須賀 公一, 石黒 章夫「自律分散ロボットによる物体凝集に潜む陰的制御構造の解析」日本機械学会論文集, Vol. 79, No. 800, pp. 1046-1055, 2013.