

## 進化ロボティクスを用いた複数ロボットによる3次元バランスング問題に対する協調行動獲得

北海道工大学 松本 泰明, 北海道工大学 竹沢 恵, 北海道工大学 木下 正博  
北海道工大学 三田村 保, 北海道工大学 ○川上 敬

### 要 旨

近年, 様々なロボットが開発され活躍している. しかし, これらのロボットは単体での作業を行うことを想定して作られていることが多く, 複数のロボットによる協調作業行動を目的としたロボットの開発はあまり進んでいないのが現状である. そこで本研究では3次元バランスング問題, 隊列形成問題を対象としてニューロコントローラや粒子群最適化等の進化ロボティクスの手法を用いることによって協調行動の獲得を試みる.

### 1. はじめに

近年, ロボットの開発が飛躍的に進み様々なロボットが生み出されている. しかし, これらのロボットは単体で作業を行うことを想定して作られていることが多く, 複数のロボットによる協調作業行動を目的としたロボットの開発はあまり進んでいないのが現状である. 複数のロボットで作業をさせる場合, 一つの作業を複数のロボットで共同して行ったほうがよいのか, それとも別々に作業を行ったほうがよいのかを判定することはロボットにとって困難なタスクとなる.

本研究では, コンピュータ上に仮想物理環境を構築し, 自由に傾く平板上に複数の自律移動ロボットを配置, ロボット同士の協調動作により平衡を保ち続けることを目的とする3次元バランスング問題を対象とし, 平板のバランスを取りつつも別のタスクを遂行可能な協調行動の獲得をANNおよびPSOを適用し進化ロボティクスの手法により解決することを目指している. 追加タスクの内容には物体の運搬など様々なものが考えられるが, 平板のバランスを保つというバランスング問題では平板の上に存在する要素が多いほど解が複雑になってしまう.

そこで本稿では, 移動ロボットのみで遂行することが可能な隊列制御に注目し, ロボット群にライン状の隊列を組ませ, ある程度隊列を維持しつつも平板のバランスを保つような行動の獲得を試みた.

### 2. 自律移動ロボットの設計

各ロボットはPhysXのプリミティブであるボックスや球などを組み合わせて設計している. ロボットは図1に示すように, 1つのボックスの底面に4つの球をそれぞれジョイントで結合している. 移動方法はジョイントに目標角速度 $\omega_L, \omega_R$ を与えることにより, 左右の球が前方方向へ回転して移動を行う. 前後の球には角速度は与えず, 回転はフリーなものとしている.

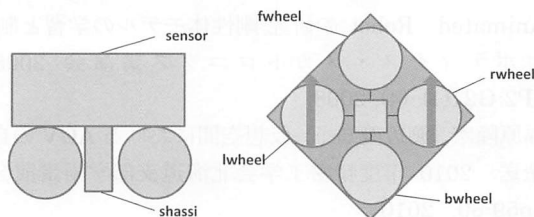


Fig.1 A structure of autonomous mobile robots

### 3. 3次元バランスング問題

本研究における, 3次元バランスング問題は物理空間上に図2に示すような一枚の平板を設置し, その平板上に複数台の自律移動ロボットが存在し, 各ロボットは個別に左右の車輪が回転することにより移動する. 平板は中央にあるジョイントにより拘束・支持され, ロボットの位置や平板のモーメントにより軸まわりの回転運動を行う. このような環境で複数の移動ロボットが衝突や落下を防ぎながら平板のバランスを保つような行動が問題の解となる.

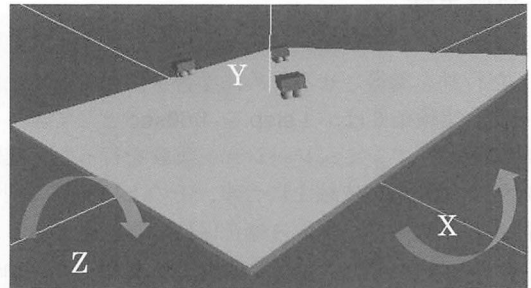


Fig.2 Designed flat board

### 4. 隊列形成問題

本研究における隊列形成とは, 自律移動するロボット群に任意の幾何学図形を形成させ隊形を維持させることとする. 本稿では図3のようなライン状の隊列を形成させる.

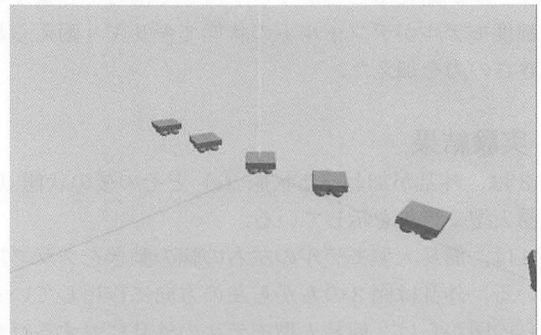


Fig.3 Platoon formation

#### 4.1 隊列形成手法

各自律移動ロボットは3つの状態を持ちそれぞれが独立したANNによって制御されている. このANNを切り替えることによって隊列の形成を行う.

##### 4.1.1 スタンドアローン状態

ロボットが隊列に加わっていない状態, この状態のロボットは隊列に加わるためにターミナルロボットへと近づく行動をとる.

#### 4.1.2 ターミナル状態

ロボットが隊列の端に属している状態、この状態のロボットはランダムな行動をする。

#### 4.1.3 隊列形成状態

ロボットが隊列内部に属している状態、ターミナルロボットの現在地に合わせて隊列を維持する行動をとる。

### 5. 進化ロボティクス

本研究ではマルチロボットの協調行動を獲得するために3次元物理エンジンを利用して仮想物理空間を構築し、その中で進化ロボティクスの手法により行動獲得を行う。

#### 5.1 移動ロボットのニューロコントローラ

前述のように設計した移動ロボットの行動は各ロボットに搭載されたニューロコントローラにより制御される。各時刻  $i$  ごとにセンサから得られた値がニューロコントローラに入力され、出力層から左右の車輪の目標回転角速度が出力される。

#### 5.2 粒子群最適化 (PSO)

上記のニューロコントローラは初期状態ではランダムな結合重み係数値を持っているため適切な行動はとれない。そこで PSO を適用し、結合重み係数値を進化させるものとする。PSO の各粒子の位置と速度の更新は次式で行われる。

$$x \leftarrow x + v \quad (1)$$

$$v \leftarrow wv + c_1 r_1 (\hat{x} - x) + c_2 r_2 (\hat{x}_g - x) \quad (2)$$

### 6. シミュレーション実験

本実験では上記にて構築したバランス問題の ANN と隊列形成問題の ANN を、上位 ANN を用いることによって切り替えることにより平板の傾きを保ちつつ隊列形成する様な行動の獲得を試みる。

#### 6.1 上位 ANN の構築

本実験に使用する上位 ANN のパラメータは表 1 のように設定をした。

Table1. Parameters for ANN

	value	Unit Number
Input layer	Slope condition of the flat board : [0~1]	2
	Formation state : [0,1]	1
	Direction and distance of the platoon : [0~1]	2
	Inside or outside of the area : [0,1]	1
	Direction of the area : [0~1]	1
Middle layer		16
Output layer	Change ANN [0~1]	1

#### 6.2 シミュレーション結果

構築した上位 ANN を用いて PSO による学習を行いシミュレーションをした。動作を確認すると各ロボットはまず隊列に加わろうとする動きを見せたが、平板が傾き始めるとバランスを維持しようとする動きが強くなり隊列を維持しようとする動きをほとんど確認することができなくなってしまった。図 4 はステップごとの平板の傾きと選択された ANN の関係を表したものである。図 5 は平板の

傾きと選択された ANN の台数の正規分布の近似曲線を表している。

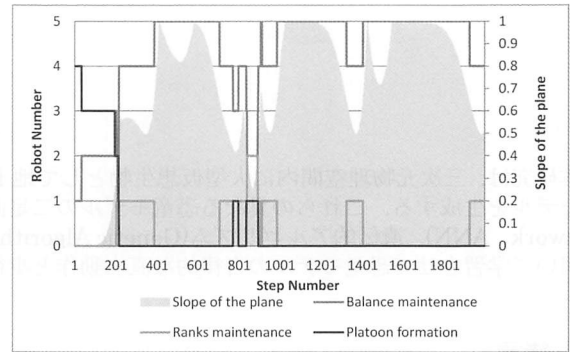


Fig4. Select ANN due to the slope condition

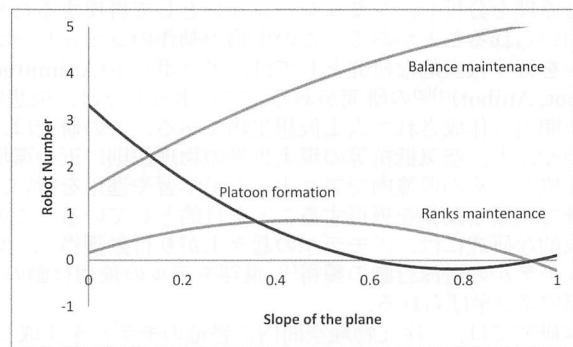


Fig5. Approximate curve of select ANN

図 2 を見ると平板の傾きが約 0.6 を下回ると隊列維持の ANN に切り替える個体が現れるが、平板がすぐに傾いてしまうためすぐにバランス維持の ANN を選択してしまう。傾きが 0.3 以下になった時はターミナル機以外のすべての個体が隊列維持の行動を選択したが瞬間的なものであった。

### 7. まとめ

本実験では上位 ANN を用いて平板のバランスを保ちながらも隊列を維持する協調行動の獲得を試みたが、平板のバランスを維持する行動が強くなり隊列を形成・維持することができなかった。隊列維持の評価に重みをもたせれば隊列形成・維持の行動が強くなるだろうが今度はバランスを維持することが難しくなってしまう。今後は、評価や ANN のパラメータを調節や台数の増加を行い、役割分担のような協調行動の獲得を目指したい。

### 参考文献

- [1] 岩館健司, 米陀佳祐, 鈴木育男, 山本優人, 古川正志: Animated Robot の研究 - 剛体モデリングツールの開発とその応用 -, 精密工学会誌 Vol.76, No.2, pp.232-237. 2010
- [2] 大川: 物理エンジン PhysX プログラミング, 第二 I O 編集部 (2009)
- [3] 大川: 物理エンジン PhysX アプリケーション, 第二 I O 編集部 (2009)
- [4] 大倉和博, 保田俊行, 松村嘉之, "構造進化的人工神経回路網による Swarm Robotics のための適応的協調行動の生成", 日本機械学会論文集 C 編, Vol.77, No.775, pp.966-979 (2011)
- [5] 藤井 正範: 移動ロボット群のフォーメーション制御, 北陸先端科学技術大学院大学修士論文, 2003