

遺伝的プログラミングによる組み合わせ型ロボットの形態形成*

島田 健太[†]峰 隆広[‡] 伊庭 齊志[‡]

東京大学工学部電子情報工学科 東京大学大学院新領域創世科学研究科

1はじめに

自然界の生物はその形態に最適な動作をしている。近年そのことに注目し、ロボットのタスクの実現に最適な形態を探索する研究がなされている[1],[2],[3]。本研究では、行動を計画することなく形態を変形させることによってロボットのタスクの実現を図る。ロボットはモジュール組み合わせ型ロボットを使用する。

2モデル

2.1 ブロックの配置

本研究では、モジュール組み合わせ型ロボットの機能別ブロックをエージェントが三次元的に配置するモデルを使用する。すなわち「右を向く」「左を向く」「上を向く」「下を向く」「ブロックを置いて前に進む」という行動をとれるエージェントが存在し、エージェントがブロックを配置し終わったときに形成された形態がタスクを実行するロボットの形態となる。エージェントは動く前に必ずブロックを配置しなければならぬ、そのためブロックは連続的に配置される。三次元を表現するために縦方向、横方向、高さ方向をx軸、z軸、y軸で表現している。

2.2 モータ

本研究では単位時間に任意の角度回転できる「モータブロック」と機能をもたない「ノーマルブロック」の二種類のみ使用する。しかし、エージェントが直接的に配置するのはノーマルブロックのみである。配置し終わったノーマルブロックに対して、以下の条件を満たすものがモータブロックに変換される。

$$\begin{aligned} d_{xy}(R_G, B_G) &\geq l \\ l &= \max(d_{xz}(R_G, B_G)) \times r \\ 0.1 &\leq r \leq 0.9 \end{aligned}$$

ただし、 $d_{xz}(a, b)$ 、 R_G 、 B_G はそれぞれ a と b の xz 平面上のユークリッド距離、ロボットの重心、ブロックの重心である。

2.3 ロボットの動作

ロボットが行う動作はモータの回転のみであり、その回転角度は常に一定である。

2.4 終端ノードと非終端ノード

本研究で使用した GP の終端ノードと非終端ノードを表 1,2 に示す。

「モータの接続を許す」とはモータの回転の支点となるブロックと接続できるか否かである。接続の候補が複数ある場合は z 軸、y 軸、x 軸の順に正方向に探索し

関数名	定義
Prog2	終端ノードまたは非終端ノードを二つとり順に実行する
Prog3	終端ノードまたは非終端ノードを三つとり順に実行する

表 1: GP の非終端ノード

関数名	定義
RIGHT	右を向く
LEFT	左を向く
UP	上を向く
DOWN	下を向く
PUT_AND_MOVE1	モータの接続を許す ノーマルブロック を置いて前に進む
PUT_AND_MOVE2	モータの接続を許さない ノーマルブロック を置いて前に進む

表 2: GP の終端ノード

ていき、最初に発見されたブロックに接続される。またモータブロックは z 軸に垂直に接続される。モータの接続位置が決定された後、回転の妨げになる位置にあるノーマルブロックは削除される。

3シミュレーション

3.1 環境

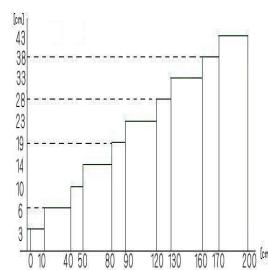


図 1: タスク対象の階段

図 1 が本研究で使用した階段である。ロボットのブロックは $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$ の立方体である。塗りつぶして表現されている部分がロボットが上の階段である。階段方向縦方向の長さを脇に示してある。階段の幅は 2m であり、それをこえるとそこで試行は中止である。階段はロボットの初期位置に対して四方それぞれに 1m の距離にある。その為ロボットの初期配置の方向に依存しないものとなっている。

3.2 評価値

評価値は 1500 をもって開始され、階段の先頭に到着すれば 400 差し引かれる。以後階段を一段上るごとに 100 差し引かれ、試行終了時に試行時間を 10 で割った値が加えられる。階段は 10 段であり、試行時間は最大

*Morphogenesis of Modular Robots by means of Genetic Programming

[†]Kenta SHIMADA, Department of Information and Communication Engineering, The University of Tokyo

[‡]Takahiro TOHGE, Hitoshi IBA, Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo

で 1000 である。その為評価値は低いほどよい。木の実行中にノーマルブロックが出現しなかった場合は評価値 3000 が与えられる。

4 結果と考察

4.1 評価値

個体数 250、50 世代、 $r = 0.9$ 、サイズ 6 のトーナメント方式でシミュレーションを行った結果を図 2 に示す。

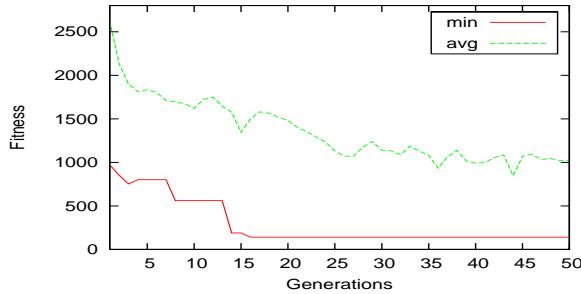


図 2: 評価値の推移

4.2 世代別にみた最良個体の形態

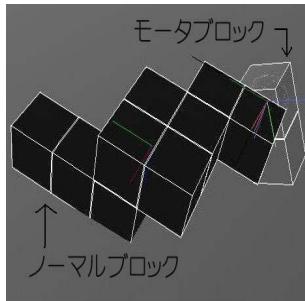


図 3: 第三代

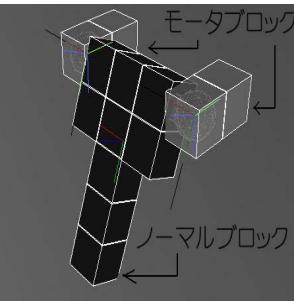


図 4: 第八世代

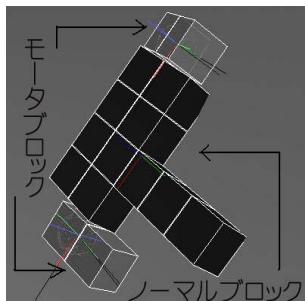


図 5: 第十四世代

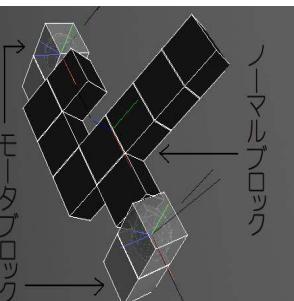


図 6: 第十六世代

図 3 は第三世代に現れた個体である。モータの出現がひとつであるため、直進行動が困難なものとなりタスクが実現できなかった。

図 4 は第八世代に現れた個体であり、縦にならんだ五つのブロックが特徴的である。ロボットはこの縦長の部分をもちいて自らを支え、段差にのりあげる。しかし、その際の傾きを支えることができずに横へと軌道がそれてしまっている。

第十四世代に現れた図 5 は同じく中央の五つのブロックを支えにして階段を上る。第八世代より前面にブロックが二つ増えている。横に長くなつたため、段差にのりあげた際の傾きによる軌道のずれを回避している。

第十六世代に今回のシミュレーションの最良個体が現れる(図 6)。右よりにある先頭の三つのブロックを階段の次の段にのせることによって段差を上り始める。図 5 に比べて前面のブロックが減少している。そのため段差にのりあげる際に前面のブロックが障害にならずより早い時間でタスクが実現されている。段差を上っていく様子を図 7 示す。

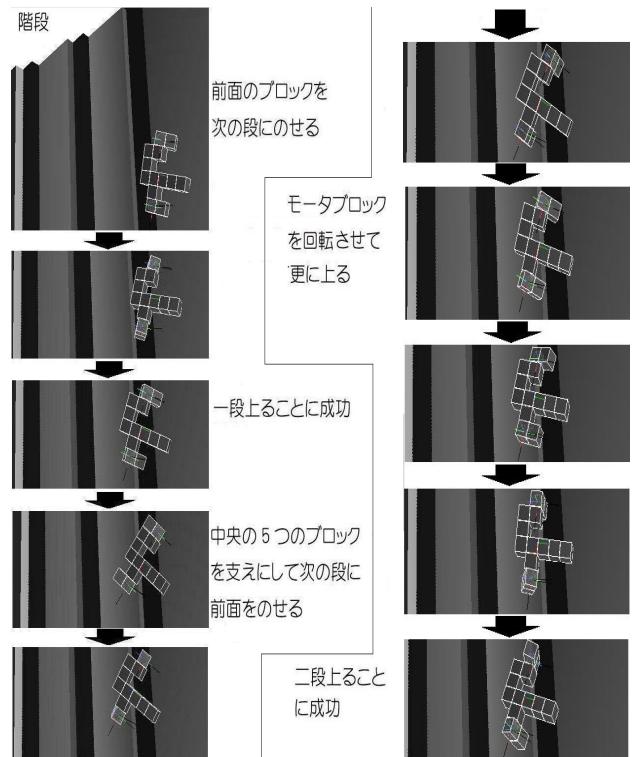


図 7: タスクの実行

4.3 進化の系統

いずれの個体も中央に並んだ縦のブロックが特徴的である。第八、第十四、第十六世代はすべて縦に並んだ五つのブロックを所有している。縦長のブロックで支える戦略が有効であった証拠である。第三世代も二段になっている多くのブロックが集中し、後の世代につながる重要な構造を所有している。第八世代以降、ロボットは段差にのりあげた時の動作に用いる前面のブロックを進化させている。

5 おわりに

本研究の結果、階段を上の最適な形態が発見できた。現在シミュレーションで得られた個体の実環境で稼動を確認中である。

参考文献

- [1] 朝井勇次 有田隆也: ブロック型ロボットを用いた構造と行動の共進化の試み情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用 Vol 43 No.SIG 10(TOM 7) p110-118
- [2] 朝井勇次 有田隆也 : マルチエージェント環境におけるロボットの構造と行動の共進化第 30 回知能システムシンポジウム, pp.61-66, 2003
- [3] 峠隆広, 伊庭斉志 : モジュール型ロボットの形態形成, 日本国際ロボット学会第 23 回学術講演会, 2005