

# 進化的計算手法を用いたモジュラーロボットの創発的形態設計

本間 大輝<sup>†</sup> 峠 隆広<sup>‡</sup> 伊庭 斉志<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>東京大学工学部 電子情報工学科 <sup>‡</sup>東京大学大学院 新領域創成科学研究科

## 1 はじめに

モジュールを組み替えることで自身の形態を様々に変形させられるモジュラーロボットは、単体で多様な環境に対応できるロボットとして注目を集めている[1][2]。しかし、対象とする環境が複雑になるほど、モジュラーロボットの設計の難度も上がるため、人手での設計ではモジュラーロボットの利点を活かしきれない。この問題の解決のために進化的計算手法を用いた自動的な形態設計が試みられており、壁を避ける、階段を上などのタスクでの成功例がある[3][4]。

本論文では、GA(Genetic Algorithm)をモジュラーロボットの形態と動作の関連に即した形で用いることで、より高度な設計を可能とする手法を提案する。さらに、歩行する、落下してくるボールを打つというタスクに対し、本研究手法を適用した結果、十分な精度を持った設計ができたことを報告する。

## 2 問題設定

本研究における設計対象はキューブ型モジュラーロボットである。モジュールとしては、何の機能も持たないノーマルキューブと、一定速度で回転し、任意のタイミングで回転方向を切り替え可能なモータを内蔵したモータキューブの2種を考える。モジュールは、ロボットが単体で現実に動作可能なように組み合わせる。すなわち、モジュールは連続的に、かつ、モータの回転によってモジュール同士の衝突が起きないように配置しなければならない。使用可能なモジュールは最大で40個、また、使用可能なモータは最大で4個までとする。モジュールの配置可能域は、一辺がモジュール16個分の長さをもつ立方体内に限る。

## 3 GAの適用

### 3.1 遺伝子型と表現型

ロボットの遺伝子型は複数の木構造とした。1つの木

Emergent Design of Modular Robot using Evolutionary Computation

Taiki Homma<sup>†</sup>, Takahiro Tohge<sup>‡</sup>, Hitoshi Iba<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>Dept. of Information and Communication Engineering, The University of Tokyo

<sup>‡</sup>Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

構造は、ロボットの1つのモータキューブとそのモータキューブに接続するノーマルキューブの集合(以下、これを単にパーツと呼ぶ)に対応する。木はSTRAIGHT, LEFT, RIGHT, UP, DOWNの5種のノードによって構成される。また、木のルートは他のノードと異なり、モータの回転周期、回転方向、接続位置、接続方向に関する情報を持つ。

遺伝子型から表現型への変換は、3段階に行う。まず、複数の木構造をモジュール配置として解釈しパーツとして実現する。これは図1のように木のルートから順に、記号の指示する方向に1モジュールずつ配置していくことにより行う。次に、木のルートのモータ情報を元に、各パーツを接続していき、1体のロボットを完成させる。このとき、モータの回転によってパーツ同士の衝突が起こらないように、モータの接続位置は適宜ずらされる。最後に、木のルートに記述されたモータ回転周期・方向にしたがってモータを動作させ、ロボットの動作を実行する。

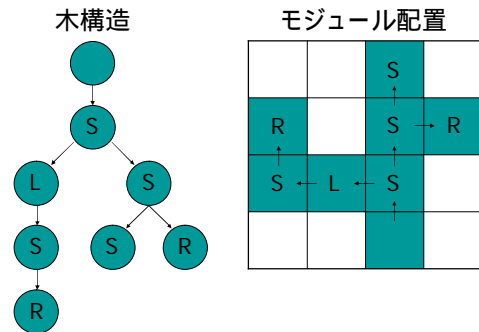


図1 木構造からモジュール配置への変換

### 3.2 交叉・突然変異

交叉処理も3段階に行われる。まず、親の持つ複数の木構造の間で、モータの接続位置に近いもの同士で木構造のペアを作成する。次に、ペアごとに部分木の交換処理を行う。最後に、ペアごとに木のルートのモータ情報の交叉を行う。これらの手順は表現型上では、パーツの接続関係、パーツの形態、モータの回転情報がそれぞれ親から引き継がれることに対応する。

突然変異処理は木構造にランダムに1ノードを付け足す、または、ランダムに1ノードを削る、というように行う。これは表現型上では1モジュールの追加、削除に対応する。

## 4 実験内容・結果

設計手法の有効性を確認するために、物理シミュレータ Webots ver 4.0.27 を用いて、設計実験を行った。実験における GA の各種パラメータは表 1 に記載されている範囲でさまざまな組み合わせを試した。設計結果は GA 実行によって得られた最良個体とした。

表 1 GA のパラメータ設定

パラメータ名	設定値の範囲
世代数	50 ~ 300
集団数	50 ~ 100
交叉率	50% ~ 80%
変異率	40% ~ 60%
選択方式	トーナメント方式
トーナメントサイズ	2 ~ 4
エリート率	1% ~ 2%

### 4.1 歩行するタスク

ロボットがどれだけ初期位置から離れることができたかを適合度とし、水平な床面の上で、移動力の高いロボットの設計を試みた。結果、図 2,3,4 のような設計ができた。これらのロボットの適合度を図 5 のような単純な車輪型のロボットを基準にして比較したところ、表 2 のようになった。



図 2 設計結果 1

図 3 設計結果 2

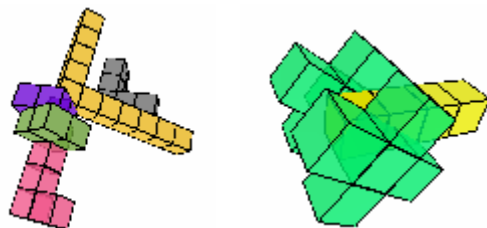


図 4 設計結果 3

図 5 比較用ロボット

表 2 GA のパラメータ設定

	図 2	図 3	図 4	図 5
適合度比	67%	116%	128%	100%

図 3, 4 のロボットは対称性の無い形態であるにも関わらず、モータをうまく接続することで、一定方向への進行を実現していた。図 2 のロボットは適合度的にはあまり優秀ではなかったが、胴体をねじりながら進行するという柔軟な発想の設計ができていた。

### 4.2 障害物をはじくタスク

地面に体を固定した状態で、落下してくるボールに体をぶつけてボールを飛ばすことのできるようなロボットの設計を試みた。適合度は、ボールの初期位置から着地点までの水平方向の距離とした。結果、図 6 のような流れでタスクを実行するロボットが設計できた。図 6 でロボットを囲っている立方体はモジュールの配置可能範囲を表している。図 6 のロボットは多段に接続されたモータによって加速しながら、うまくタイミングを合わせてボールを飛ばすことができていた。

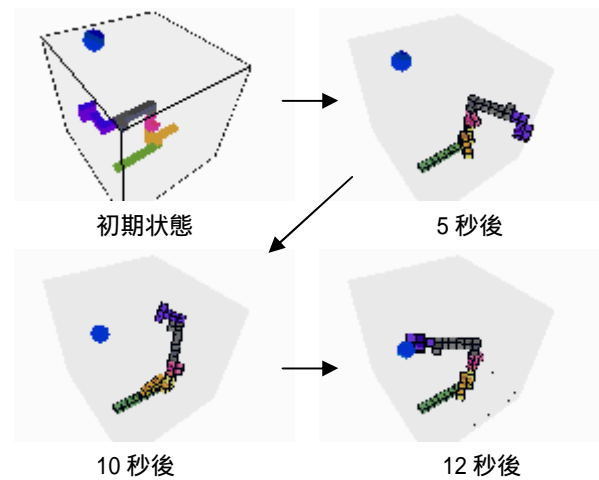


図 6 ボールを飛ばすロボット

## 5 おわりに

本研究手法を利用したモジュラーロボットの設計を試みたところ、タスクに応じて複数のモータを組み合わせで動作するロボットが設計できた。進化的計算を利用したことによって、人の発想にない設計が得られる場合もあった。

今後の課題は、モータ動作に現実的な制約を課し実機への応用を可能にすること、周期的動作だけでなく複雑なモータ動作を可能にすることである。

### 参考文献

- [1] 黒河治久, 吉田英一, 神村明哉, 富田康治, 村田智, 小鍛冶繁, "変形移動する自立モジュール型ロボット(M-TRAN)", 日本ロボット学会誌, vol. 21, no. 8, pp. 855-859, 2003
- [2] 清水正宏, 高橋正康, 川勝年洋, 石黒章夫, "制御系と機構系の有機的カップリングを活用したモジュラーロボットの創発的形態制御", 日本ロボット学会誌, vol. 23, no. 6, pp. 718-724, 2005
- [3] 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. SIG10(TOM7), pp. 110-118, 2002
- [4] 島田健太, 峠隆広, 伊庭育志, "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", 第 68 回情報処理学会全国大会, 2006