

進化計算によるポリキューブ型ロボットの機能創発

Function Emergence of Polycubic Robots using Evolutionary Computation

峠 隆広*¹ 伊庭 斉志*¹
Takahiro Tohge Hitoshi Iba

*¹ 東京大学
The University of Tokyo

Recently modular robots have become more capable of practical applications with the recent improvement of sensors and actuators. Among them, a robot has been developed which can change its pattern according to the landscape or for its own purpose. However, deciding the appropriate pattern and controller manually is not easy with the increased number of modules. In this paper, we propose a new approach to automatically building patterns of block-type robots by means of artificial-life morphogenesis. We empirically show the emergence of the effective patterns in both virtual and real worlds, some of which seem to be surprisingly counter-intuitive.

1. はじめに

複数のユニットを組み合わせて一体のロボットを構成するモジュール型ロボットが実現できるようになった。モジュール型ロボットは目的に合わせて形を変えたり、同一の部品を使うことで、耐故障性、拡張性に優れている一方、その自由度が欠点となって目的にあう形状や行動を決定するために大きなコストがかかってしまう。

これまでのロボット研究では、あらかじめデザインを決定した上で、センサー入力、内部記憶とモーター出力のつながりを学習などの手法によって獲得させるといった研究は多くなされてきた。しかし、実機のロボットに対してその形状自体も獲得させるといった研究は一部の幾何学的パラメータ調節などを除いてはあまり行われていない。

体の構造を自由にえられる研究用ロボットとしてはLEGOのマインドストームなどが有名だが、部品が細かく機能性の低い部品が多いことなどから、ある程度組み立てられたモジュールの配置の組み合わせを行うものが多い[1],[2]。

本稿では、ひとつのポリキューブ型のモジュール型ロボットを対象とし、生物の発生過程をモデルにした形態形成を用いてモジュール型ロボットの機能創発を目的とする。

2. ROBOCUBE

実験にはブロック状のモジュール型ロボット, ROBOCUBE[4]を用いる。ROBOCUBEはひとつのブロックが約5cmの立方体であり、六つの面に配置されている四つのコネクタをボタン状の接点で接続し、電源ラインと通信ラインを結ぶことによって自動的に各モジュールのネットワークが形成される。一体のロボットにはひとつのコアブロックと電源が必須であるが、その他はどのように繋いでもロボットとして機能するため、膨大な組み合わせパターンが存在することになる。実際には各使用ブロックの数に制限があり、何らかの機能があるブロックを用いて構成した場合には全体で最大16個までしか使えないようになっている。

連絡先: 峠隆広, 新領域創成科学研究科基盤情報学専攻, 277-8561 千葉県柏市柏の葉 5-1-5 基盤棟 704, 04-7136-3873, tohge@iba.k.u-tokyo.ac.jp

3. 形態形成モデル

3.1 基本発生モデル

本稿では、隣接するブロックとの接続条件をもとにした発生モデルを用いる。この発生モデルは死滅のない三次元セルオートマトンであり、自分の周囲のブロックの接続状態に応じて次にどの位置に新たなブロックを接続するかどうかを決める条件の集合である。

ただし、単純なセルオートマトンルールだけでは、初期条件が固定された中で複雑な3次元形状を得る難しい。そのため、発生ルールを分解し、初期ブロックからの距離による分岐条件を導入することで、単純な形状のみ収束することを防ぐ。

具体的にオートマトンのルールを遺伝的アルゴリズムにおける遺伝子として定義する。ひとつの遺伝子は距離条件、接続方向、接続条件の3つの要素をもつ。発生途中のひとつのブロックに注目した際、そのブロックが初期ブロックからどの程度離れているかをチェックする(距離条件、ある距離以下、ある距離以上、ある距離の範囲以内、など)。その後、接続方向に記述されている方向が空いているかをチェックする。距離条件、発生方向条件が満たされた場合、接続条件により、周囲のブロックの接続状況をチェックする。ここまで3つの条件が満たされた場合に初めて新たなブロックを接続することが可能となる。

これをひとつの遺伝子とし、可変長染色体をもつ遺伝的アルゴリズムとして形態の進化を実装する。

3.2 進化システム

前述の発生モデルと可変長遺伝子による遺伝的アルゴリズムを用い、以下のような手順で進化を行う。

1. ランダムな遺伝子を持つ初期集団を生成する
2. 発生開始: 1つのコアブロックから遺伝子によって発生する
3. 発生終了: 一致する規則がなくなるか、規定のブロック数に達した場合に終了する
4. 適合度計算: 発生部で得た形態でタスクを実行し適合度を得る
5. 遺伝操作: 選択, 交叉, 突然変異を作用させ次世代の集団を生成する
6. 2へ戻る。

4. 実験:亀裂の渡航

4.1 環境

本実験では約ブロック 2 つ分の亀裂を落ちないように乗り越えるようなタスクを考える。通常の車輪を用いたロボットではそのまま亀裂に落ちてしまう。ひとつのコアブロックから発生を始め、モーターは最大で 2 個まで用いる。モーターの先に繋がる脚ブロックはそれぞれ 6 個まで、ブロック全体の総数は 13 個までとする。

モーターのコントローラは単純な等速回転とし、その回転方向だけを遺伝子によって定義する。

適合度は亀裂のある方向に対する 20[s] 後のコアブロックの位置 (水平移動距離) である。このタスクでは初期状態で亀裂に方向にブロックを伸ばし、はじめから向こう岸にモーターブロックが存在するような場合は、簡単に解けてしまうが、そのような個体は取り除くものとする。

シミュレータはフリーの物理エンジン ODE(Open Dynamics Engine) を搭載した Webots を用いた。

4.2 GA パラメータ

Messy GA のパラメータは以下のようなものを用いた。

- 個体数:256
- 初期染色体長:32
- 最大染色体長:1000
- 突然変異率:0.5%
- 選択方法:トーナメント方式 (サイズ 4)
- Generation Gap: 0.5
- 交叉:cut and splice

4.3 結果

Fig.1 に各世代ごとの適合度の最大適合度 (max), 平均適合度 (avg) を示す。また亀裂の始まりと終わりである、適合度が 20 と 30 の値にもラインを引いている。同図中にはいくつかの世代での最良個体を載せている。

この実験での準最適個体は亀裂に対して斜めに進入することにより、亀裂での引っかかりを防ぐように進行している。

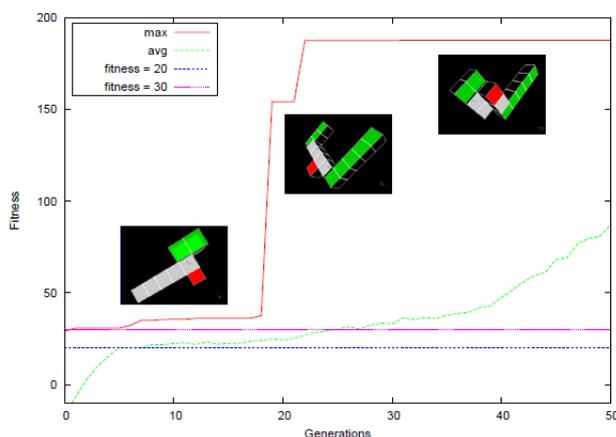


図 1: Change in Fitness

5. 考察

このモデルでは遺伝子ひとつあたりの影響が小さいため初期状態で多様な遺伝子が存在することが鍵となる。これは個体数と初期染色体長を大きくすることによって可能だが、この実験ではタスク実行による適合度の計算に多大なコストがかかっているため初期染色体長をある程度長くすることで解決している。

この問題では淘汰圧が大きくなる傾向にあるため、ジェネレーションギャップを小さくすることでその回避を試みたが、実際には最適個体に引っ張られるように平均適合度が収束してしまう傾向にあった。今後は個体数を増やすアプローチにより複雑なタスクに対するモデルの有効性を確認する必要がある。

6. おわりに

本稿では三次元シミュレータを用いてブロック型ロボットの発生進化型の形態形成を行った。その上で単なるブロックの塊に過ぎなかった個体に、ある目的に対する有効な形態を進化させることによって新たな機能を生み出すことに成功した。今後は実世界で有効な超音波センサ等と組み合わせ、ロボット全体の形態、機能、行動の複合的な生成を行い、先行研究との比較を行う予定である。

参考文献

- [1] Lund, H, H.:Co-evolving Control and Morphology with LEGO Robots, Proceedings of Workshop on Morpho-functional Machines, (2001).
- [2] 直田, 松田:パーツ組合せ型ロボット機体設計支援システムの構築, 日本機械学会生産システム部門講演会, (2002).
- [3] Sims, K:“Evolving Virtual Creatures”, Proceedings of Computer Graphics, pp.15-22, 1994. bibitemnakanoNakano, K., Konishi, K, Ishiyama, K, Ikeda, R.:A Self-Organizing System with Cell-Specialization, IEEE International Conference on Evolutionary Computation, pp.279-284, (1997).
- [4] <http://www.watt.co.jp>
- [5] 朝井, 有田: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, Vol.43, No.SIG10 (TOM7), pp.110-118, (2002).
- [6] Lipson, H, Pollack, J, B.: Automatic Design and Manufacture of Artificial Lifeforms, Nature, Vol. 406, pp.974-978, (2000).
- [7] Griffith, S., Goldwater, D., Jacobson, J, M.: Self-replication from random parts, Nature Vol.437, pp.636-636, (2005).
- [8] Tohge, T., Iba, H.: Evolutionary Morphology for Cubic Modular Robot, Proceedings of 2006 IEEE World Congress on Computational Intelligence, (2006).