



Title	仮想モジュラーロボットの適応行動とその行動解析
Author(s)	米陀, 佳祐; 鈴木, 育男; 山本, 雅人 他
Citation	精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 2009, 1007-1008
Issue Date	2009-08-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/51238
Type	journal article
File Information	N40_1007-08.pdf



仮想モジュラーロボットの適応行動とその行動解析

北海道大学 ○米陀 佳祐, 鈴木 育男, 山本 雅人, 古川 正志

Study on Adaptive Behavior and its Behavioral Analysis for Virtual Modular Robot

Hokkaido University, Keisuke YONEDA, Ikuo SUZUKI,
Masahito YAMAMOTO and Masashi FURUKAWA

There are many studies on hardware and software experiments to control a modular robot. The modular robot consists of homogeneous or heterogeneous simple modules. A feature of it is that the modular robot behavior is obtained by an each module movement based on local communications between linked modules. This study focuses on a computer simulation obeying physics laws for a virtual modular robot. This simulation aims at achieving given tasks autonomously for it in specific circumstances. Our goal is to acquire a control system in evolution for the virtual modular robot and to analyze and evaluate their behavior.

1. はじめに

進化ロボティクスや人工生命の分野において、自律ロボットの制御に関する研究が行われている。特に、与えられたタスクを自律的に達成するビヘイビアの獲得は重要な課題である。本研究では、特定環境下でロボットが目的のタスクを自律的に達成する問題の計算機シミュレーションに焦点を当てる。

このようなタスク達成問題を取り扱うため、我々はこれまでに3次元仮想空間内に構築された仮想自律ロボットとして Animated Robot (Anibot) を提案し、Anibotの設計及び物理シミュレーション用ツールとしてモデリングツール TIPS-PM の開発を進めてきた¹⁾。

本稿では、形状を変えながら周囲の環境及び与えられたタスクへの適応が期待できるモデルとして、モジュラーロボットに注目する。モジュラーロボットとは、モジュールと呼ばれる機械ユニットを複数個連結させて構成されるロボットである。このロボットの特徴はモジュール連結部の回転及び伸縮などの局所的な相互作用により各モジュールが運動し、ロボット全体が振る舞う点である^{2, 3)}。本研究では、3次元物理シミュレーションを通して、モジュール間の相互作用のみからロボット全体を運動させる運動メカニズムを進化的に獲得する学習実験に注目する。学習実験では、形状を変形する簡単なタスクとして、障害物間の隙間を通り抜けるビヘイビアを獲得する実験を扱う。また、学習から得られたビヘイビアの特徴を解析・評価するためのロバスト性に関する検証実験も行ったので、それらの結果を示す。

2. 仮想モジュラーロボット

Anibot を仮想モジュラーロボットとして定義する。モデルのモルフォロジ及びコントローラについて述べる。

2.1. モルフォロジ

実験で扱うモジュラーロボットを図1に示す。このモデルは、直方体形状のモジュールをバネジョイントで連結したモデルである。各バネの伸縮をモデル全体に伝えやすくするため、円環状にモジュールを連結した。このモデルは、すべてのバネをアクチュエータとし、それぞれ固有に定義されたコントローラが伸縮速度を調節することでモデル全体を制御する。

2.2. コントローラ

図1に示すモジュラーロボットは、各モジュールがバネの伸縮速度を固有のコントローラで独立に制御して振

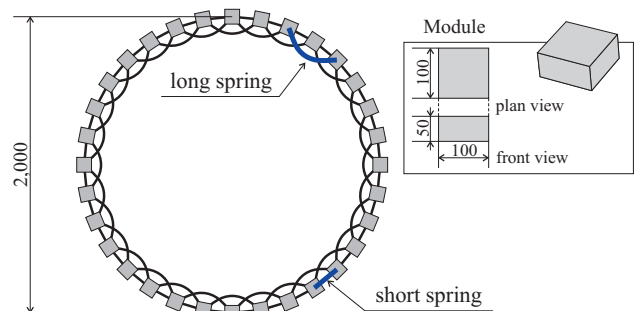


Fig.1 Body system of modular robot (plan view)

る舞う。バネ i の伸縮速度は式 (1) に基づいて計算する。

$$v_i(t + \Delta t) = v_i(t) + A_i(t) \sin(\omega_i(t)\Delta t + \theta_i(t)) \quad (1)$$

ただし、 $v_i(t)$ は時刻 t におけるバネ i の伸縮速度、 $A_i(t)$ は振幅、 $\omega_i(t)$ は角振動数、 $\theta_i(t)$ は累積位相、 ϕ_i はバネ固有の初期位相である ($\theta_i(0) = \phi_i$, $\theta_i(t + \Delta t) = \theta_i(t) + \omega_i(t)\Delta t$)。このとき、バネは $v_i(t) > 0$ であると伸び方向に、 $v_i(t) < 0$ で縮み方向に運動を行う。

各バネに定義されたコントローラは、学習によるビヘイビア獲得を目指すため、人工ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network, ANN) で構成されている。図1のモデルは、障害物間の隙間を通り抜ける問題の達成を扱うため、コントローラは対応するバネ及びその周辺の情報を取得し、制御パラメータ $A_i(t)$ 及び $\omega_i(t)$ を決定する。また、本実験では目的地として光源を設置し、モデルが光源方向へ移動する問題として学習実験を設定する。ここで、各モジュールに速度センサ、光源方向を認識する光センサ、及び障害物の方向を認識する障害物センサを定義する。これらのセンサによって各モジュールは周辺情報を取得可能となり、コントローラはバネが連結する2モジュールが取得したセンサ情報に基づいて自身の伸縮速度を制御する。ただし、モジュール・光源間に障害物がある場合、そのモジュールの光センサは光源を認識できないとする。

3. 数値シミュレーション実験

仮想モジュラーロボットが学習からビヘイビアを獲得するための数値シミュレーション実験を実施する。

3.1. 実験内容

本実験では、モジュラーロボットが形状を変形させるビヘイビアを獲得し、環境に適応できるかを検証する学

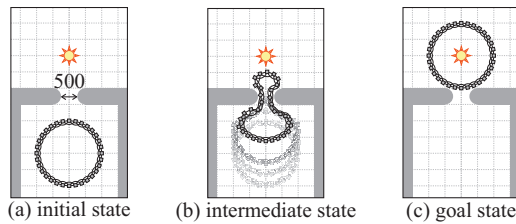


Fig.2 A task of learning experiment (top view)

学習実験を行った。実験は図2に示すように、障害物に囲まれた状況で障害物間を通り抜け、その先の光源方向へ移動するビヘイビアを獲得する実験である。学習実験は、モデルが持つ全ANNの結合荷重及び全アクチュエータの固有初期位相を実数型遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA) で最適化する。ただし、学習の簡単化のため、全ANNの結合荷重は共通の値を使用する。

3.2. 実験条件

学習中におけるモデルの振る舞いは式(2)で評価する。

$$f = \sum_{t=0}^{N_s} \sum_{m=1}^{N_m} l_m \quad (2)$$

$$l_m = \begin{cases} e^{-\alpha d_m} & (\text{if module } m \text{ receives light}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (3)$$

ただし、 N_s はシミュレーションステップ数、 N_m はモデルのモジュール数である。 l_m はモジュール m が光源から受ける光強度とし、モジュールと光源との距離 d_m に対して式(3)で定められる。ここで、 α は重み係数であり、本実験では $\alpha = 0.8$ とした。

この評価式は、生物の走光性行動を表現した式であり、各モジュールがシミュレーション中にどれだけ光源の光を受けたのかを評価する。この評価式の値が大きいほど、早く光源に近づき光源付近に止まるビヘイビアとなり、評価値を最大化するようANNを最適化する。

本実験では、ニューロン数25個の隠れ層を2層持つ4層構造ANNを採用した。実数型GAは、個体数20個で200世代最適化する。各遺伝オペレータは、交叉率90%、突然変異率1%、逆位率30%とした。シミュレーションは1ステップ1/60 [sec] とし、1エピソード8,200ステップのビヘイビアを評価する。

3.3. 実験結果

学習実験の結果をまとめる。図3にGAによって200世代最適化した最良個体のビヘイビアの様子を示す。このスナップショットでは、モデルが壁の隙間へ向かい形状を細長く変形させ、隙間を抜け出す様子を確認できる。この実験では、GAの世代が進むにつれて、光源の光をより受けやすい場所に移動するビヘイビアが見られた。その結果、効率的に隙間から外へ抜け出すビヘイビアが獲得されたことになる。なお、この実験で獲得したビヘイビアの様子は動画としてWeb上に公開してある⁴⁾。

3.4. ビヘイビアのロバスト性評価

学習実験では、障害物間の隙間を通り抜け、光源へ移動するビヘイビアを確認した。実験で獲得したビヘイビアは、バネの伸縮から光源へ移動する運動の方向性、及び隙間に向かい形状を細長くする運動の出力などの特徴的な動作が観察できた。これらの運動を発生するメカニズムの特性を調べるため、獲得したビヘイビアの運動を解析する。本稿では、検証実験として、ANNの入力へのノイズに対するロバスト性を調査した。

検証実験は、学習実験で最も高い評価値を獲得した個

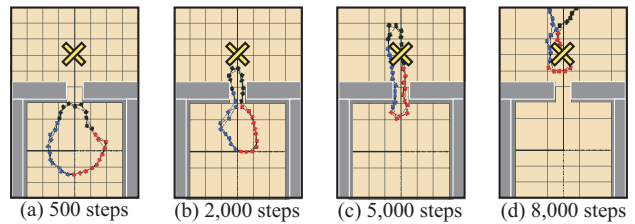


Fig.3 Experiment result at the 200th generation

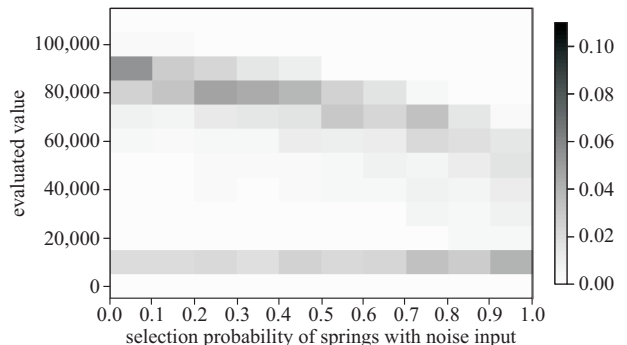


Fig.4 Robustness verification result

体を対象とし、ANNの入力値に対するノイズ付与による評価値への影響を調べた。実験は、予め選択されたバネに毎ステップ任意のノイズを加える。ただし、ノイズは標準正規乱数に従う実数値として定義した。

検証結果を図4に示す。図4は、横軸がノイズを付与するバネの選択確率で、縦軸が評価値である。バネの選択確率は、0%から100%まで1%刻みで変化させ、それぞれ20回ずつ合計2,000回の検証を行い、各確率に対する評価値の頻度分布を濃淡で示した。評価値は、1エピソードのモデルのビヘイビアを式(2)で評価した値であり、経験的に60,000以上であればタスク達成を示すビヘイビアである。検証結果では、7割を超える数のバネにノイズを付与した場合でも、タスク達成が見られ、対象とした個体の微小なノイズへの耐性が確認できた。

4. おわりに

本研究では、仮想モジュラーロボットが自律的なビヘイビアを獲得するための学習実験を実施した。実験では、形状を変形させながら移動行動を獲得する様子を確認した。さらに、ロバスト性の検証実験からANNに対するノイズの耐性を確認した。今後は、獲得したビヘイビアへのロバスト性検証実験及び時系列解析などを重ね、運動の特徴を調査することが課題となる。

参考文献

- 1) K. Yoneda, K. Iwadate, I. Suzuki, M. Yamamoto and M. Furukawa, Development of Modeling Tools for Animated Robot, International Symposium on AMAM2008, 2008.
- 2) M. Shimizu and A. Ishiguro: A Self-reconfigurable Robotic System That Exhibits Amoebic Locomotion, IEEE International Conference on CME2007, (2007) 101.
- 3) S. Murata and H. Kurokawa: Self-Reconfigurable Robot: Shape-Changing Cellular Robots Can Exceed Conventional Robot Flexibility, IEEE Robotics & Automation Magazine, (2007) 71.
- 4) Autonomous System Engineering Lab., Hokkaido Univ., <http://junji.complex.eng.hokudai.ac.jp/researches/physics-modeling/movies/yoneda/>