

進化的計算を用いた直鎖リンク型移動ロボットの運動パターン生成

Generation of Motion Pattern of a Serial Link-Type Locomotion Robot using Evolutionary Computation

学 川内野 明洋 (慶大)

正 前野 隆司 (慶大)

Akihiro KAWACHINO, Keio University, 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama

Takashi MAENO, Keio University, 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama

<http://www.maeno.mech.keio.ac.jp>

Creatures emerged their geometry, compliance, neural network and locomotion pattern simultaneously interacting with their environment taking long time by evolution. If the entire system of creatures including above elements is modeled for locomotion robots, geometry, compliance, neural network and locomotion pattern of the robots can be emerged simultaneously same as creatures. In this study, a simple model of a locomotion robot is proposed. Geometry of the robot is simplified into three serial links in order to include all the above elements. Environment is modeled as uneven ground. Neural network is modeled as RNN (recurrent neural network). Compliance of the robot is modeled so as to be controlled by output signal of the RNN. Angles of joints are also controlled by output signals of the RNN. The RNN pattern is obtained by GA (genetic algorithm). As a result, the robot obtained its compliance, RNN pattern and locomotion pattern simultaneously interacting with environment by evolutionary computation.

Key Words : Locomotion robot, Emergence, Compliance, Recurrent Neural Network, Genetic Algorithm

1. はじめに

近年、生物のように創発的に移動パターンや神経回路パターンを生成する移動ロボットの研究が盛んに行われている。これらは、トップダウン的に制御則を与える決定論的な方法論と異なり、運動や制御則の進化的な獲得を目指すものである。しかし、多くの研究は人工生命・情報科学的な観点に端を発するためか、神経・制御・情報系に関する議論が中心である。一方、近年、身体性・環境適応性といった生体・機械・力学的な観点を採り入れた研究も増加しつつあり、CPG (Central Pattern Generator) の進化的獲得、歩容パターンの生成等といった個々の目的を具体的に解決しつつある⁽¹⁾。しかし、従来の研究では、生物が柔軟性を変化させることによって動的環境に適応している点については十分に考慮されていなかった。また、生物は、柔軟性を含む力学的条件と、それらとの入出力に基づき構築される神経系のパターンを、総合的・同時進行的に進化させてきた。このため、生物に学ぶ移動ロボットの研究においては、対象を個々の要素に限定するのではなく、ロボットが関わる全体系、すなわち、形態条件・環境条件・柔軟性・神経系の相互作用を考慮した系の進化をモデル化し、生物のように全体系が創発的に設計される仕組みに学ぶ必要がある。そこで、本研究では、ロボットの形態条件を必要最小限に単純化する一方、環境条件・身体の柔軟性(可変コンプライアンス)などの力学的拘束条件をモデル化し、それら力学系と相互作用するRNN(リカレントニューラルネットワーク)をGA(遺伝的アルゴリズム)により進化させる全体系モデルを構築する。そして、本モデルを用いれば、不整地環境に適応して運動パターンやコンプライアンスパターンを変化させて移動運動を行えるRNNのパターンが進化的に獲得できることを示す。

2. ロボットのモデル

ロボット本体は、銅谷⁽²⁾が構築した2次元平面内の3リンク2関節直鎖リンクロボットとする。本ロボットは、単純形状にもかかわらず、多様な運動パターンを獲得できることが知られている。銅谷は制御器の構造自体は与えて変数・係数を探索し運動パターンを獲得したのに対し、本研究では、Fig. 1のように、不整地環境、関節の

能動・受動コンプライアンス、感覚フィードバック、そして、CPGとして適応的に発振パターンを獲得するためのRNNを考慮している。以下にそれぞれについて述べる。

ロボットの各リンクは、長さ50mm、質量100gとする。環境条件は、Fig. 2に示したような山状の不整地を含む平地とする。ロボットの運動は動力学計算に基づく計算機シミュレーションにより求める。シミュレーションにおいて接触反力が作用する点はFig. 1におけるリンクの先端と各関節とする。

関節の柔軟性は、能動・受動コンプライアンスにより表わす。すなわち、能動コンプライアンスは、あとで述べるRNNにより制御される可変サーボ剛性(能動ばね)として表現する。受動コンプライアンスは、ある関節角度に取り付けられたばねにより表現する。

神経系は、Fig. 1のように、地面からの接触反力と姿勢の情報をセンサから入力し、各関節に対して関節角度目標値と関節コンプライアンスを制御指令として出力す

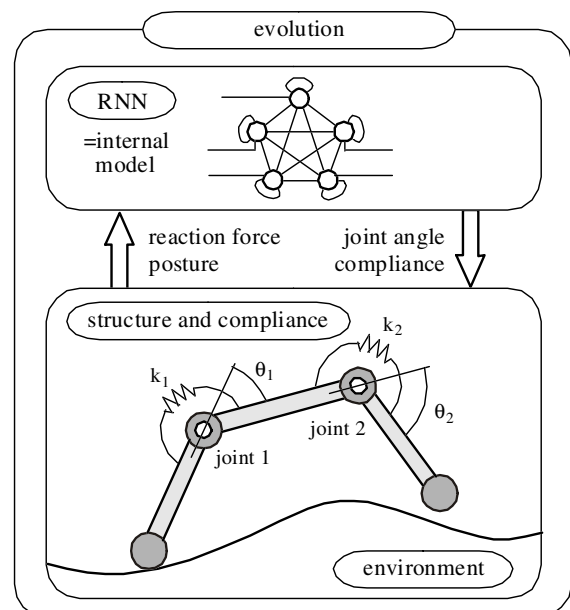


Fig. 1 Model of a robot



Fig. 2 Locomotion pattern of the robot

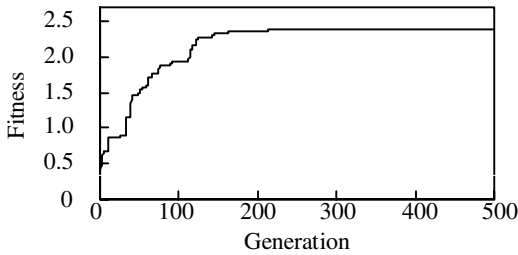


Fig. 3 Change of fitness

る全結合型 RNN とする．各ニューロンのモデルは一般的な連続時間連続情報モデルとする．RNN は，環境とロボットの相互作用に基づく全体系の内部モデルを進化的に獲得できる神経モデルと考えられる．

運動パターンは，進化的計算の一種である GA により獲得される．GA の探索パラメータは，RNN のパラメータ，ばねを取り付ける関節の角度およびばね定数の値とする．GA における各個体の適合度は，Fig. 2 の環境において，10 秒間シミュレーションを行った際の移動距離と定義する．すなわち，移動ロボットがより速く移動できるほど環境に適応しているものとみなす．

GA において，個体数は 60，選択はルーレット選択とエリート保存戦略の併用，交叉は交叉率 0.8 の 2 点交叉，突然変異は突然変異率 0.01 から 0.1 の適応変異とした．初期個体の遺伝子はランダムに生成した．計算時間は，Pentium III 700 MHz 搭載のパソコンにおいて約 7 分/世代であった．

3. シミュレーション結果と考察

Fig. 3 に最大適合度の変化を示す．215 世代目で適合度の最大値が 2.38 に達した後は，500 世代まで変化しなかった．したがって，215 世代における適合度最大個体はある程度環境に適応した個体と考えられる．初期世代では RNN は発振する能力さえ持たず，移動を行うことはできなかった．これに対し，世代が進むと発振する能力を持つ RNN が獲得され，ロボットの高速移動が可能となった．これより，環境とロボットの相互関係が RNN に内部モデルとして獲得されたものと考えられる．

215 世代における適合度最大個体の移動の様子を Fig. 2 に示す．中央のリンクをほぼ水平に持ち上げて，両端のリンクを前足・後ろ足のように交互に前に出して歩行している様子が見える．しかも，中央の不整地をも運動パターンを変えて器用に乗り越えている．これは，環境条件・身体の変換コンプライアンス・感覚フィードバックと RNN を総合的にモデル化したことにより得られた歩容と考えられる．すなわち，変換コンプライアンスを考慮したことや，感覚フィードバックループを有する適応的な CPG を獲得したことにより，環境条件の変化に対応できている．このような特徴を詳細に見るために，関節角度指令値，関節コンプライアンス指令値，関節角度および移動速度の履歴を Fig. 4 に示す．図より，ロボットは関節角度 0 度の状態から立ち上がり，0.5 秒から 2.4 秒では周期的な運動を行っていることがわかる．すなわち，周期的運動に基づき平地を移動できる CPG が獲得できているといえる．また，2.4 秒から 3.6 秒の間ではパタ

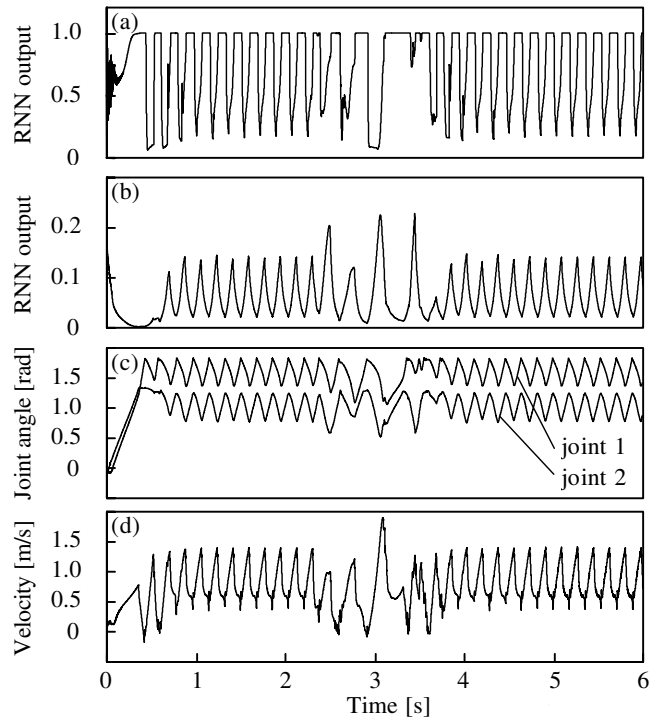


Fig. 4 History of RNN output and robot movement

(a) Output for angle of joint 1 (b) Output for compliance of joint 2
(c) Joint angles of the robot (d) Velocity of the robot

ーンが変化している．これは山を乗り越える際の変化である．図 (d) より，山を登る際には速度が減少し，降りる際には増加していることがわかる．また，図 (b) より，関節のコンプライアンスを調整しながら移動運動を行っている様子が見える．以上より，本ロボットは，環境変化に応じて運動パターンを変えることの可能な RNN を獲得できたといえる．

また，RNN パラメータの許容限界や環境条件を変えて計算した場合にも，さまざまな運動パターンを獲得できた．これより，本モデルはそれぞれの条件に応じて適切な RNN のパターンを進化的に獲得できるモデルであるといえる．

今後は，本モデルを用いて，形態・環境条件・柔軟性・感覚フィードバック・RNN・進化の相互関係について詳細に探求していく予定である．また，ハードウェアの製作，複雑な行動や認知の獲得への拡張，形態を進化的に獲得するロボットへの拡張なども行ってゆきたい．

4. おわりに

ロボットの形態と環境条件・柔軟性・感覚フィードバック・RNN・進化を総合的に扱えるロボットのモデルを構築した．これを用いて進化的計算を行った結果，移動ロボットは CPG を獲得し，不整地にも柔軟に対応できることを確認した．本モデルを用いて，それぞれの要素と創発現象の関連性についてさらに探求していくことが今後の課題である．

文献

- (1) 藤原，山海，創発的学習能力を持つ運動制御系と歩容制御シミュレーション，日本ロボット学会誌，16-3 (1998)，353-360.
- (2) 銅谷，運動パターンの自己組織化，第 16 回 SICE 学術講演会予稿集 (1987)，961-964.