

2 足歩行ロボットの進化的設計 -サーボモジュールの実装と実ロボットへの適用-

Evolutionary Design of Biped Walking Robot

-Realization of Servo Module Implementation and Real Robot Production-

○ 非 遠藤謙 (fuRo/慶應大) 非 古田貴之 (fuRo)
非 北野宏明 (Sony/JST) 正 前野隆司 (慶應大)

Ken ENDO, Future Robotics Technology Center, Chiba Institute of Technology
Keio University

Takayuki Furuta, Future Robotics Technology Center, Chiba Institute of Technology

Hiroaki KITANO, Sony CSL, Japan Science and Technology Corp.

Takashi MAENO, Keio University

In this paper, morphology and walking pattern of biped walking robots are designed and produced using the evolutionary computation. The morphology and controller are closely related to each other. Therefore, it is important to consider both of them simultaneously. The morphology and walking pattern are generated using a two step Genetic Algorithm in the procedure of design. We assume the servo modules for radio control car are used in the structure of robot. The geometries and orientations of servomodels are generated. The environment that robot walk on is the flat ground under the effect of the gravity. the walking distance and the stability of upper body are evaluated during the evolution. As a result, the valid morphology and walking pattern are generated, and real robot are designed and controlled using the result of calculation.

Key Words: Biped Walking Robot, Pattern Generator, Genetic Algorithm, Co-evolution

1 はじめに

これまでに、さまざまな産業でロボットの研究開発が行われ、利用されてきた。通常、ロボットは仕様決定の後、機構設計、製作、制御系設計の順に開発され、問題点が見つかった場合には再設計が行われる。しかし、このように各作業を順に行うと問題点の発見が遅くなってしまうことが多い。特に、ロボットの形態と運動パターンには密接な関係があるため、機構設計と制御系開発が別々に行われると何度も再設計を行うことを必要とする。そこで、ロボットの機構設計と制御系開発を同時に行う手法が考えられる。ロボット開発における時間と労力を削減できるのみならず、解空間が広がり、さらに優秀な個体が獲得できると考えられるからである。生物はまさに進化の過程でまわりの環境に適応しながら、その形態と運動パターンを獲得した。この過程を工学的に応用すれば、ロボットのボトムアップ的な設計手法を確立することができると考えられる。そのため、本研究では進化的計算手法を用いてロボットの形態と運動パターンを同時に生成する設計法の確立を目指している。これまでに、2足歩行ロボットの設計手法を確立するために、ある程度単純な3次元モデルをみつかった⁽¹⁾。本稿では、市販のサーボモジュールを用いた2足歩行ロボットの機構設計と歩行パターンの生成を同時に行い、実際に計算結果を用いて実ロボットを制作し、本手法が実ロボットの開発に使用できることを確認した。

2 手法

2.1 形態

ロボットの形態と歩行パターンを同時に創発的に獲得するためには、まず両者を単純かつ適切にモデル化し、進化的な設計手法を確立する必要がある。2足歩行は高度な運動であるため、はじめからその運動パターンを生成することは困難であると考えられる。そのため、進化的計算手法

を2段階に分けて適用する。すなわち、第1段階では単純なモデルを用いて基本的な2足歩行パターンを獲得し、第2段階では詳細なモデルとその形態モデルに適した2足歩行パターンを生成する。第1段階に用いる形態モデルをFig.1に示す。各リンクの線密度は一定で、3.19kg/mとし、足先から腰までの長さは一定で0.28mとした。また、足先のプレートは常に地面と平行になるように制御されるものとする。さらに、足先から膝まで、また膝から腰までの長さ、および上半身に相当するリンクの長さは進化の過程で変化するものとする。また、各関節の駆動トルクの値を-2.4Nmから2.4Nmとした。第2段階では、ロボットの機構に市販のサーボモジュールを使用することを想定し、Fig.2のように6つのモータにより構成されるモデルを用いた。シミュレーションでは実際に用いるモータの特性を考慮し、モータの配置位置を進化的に獲得するものとした。その他のパラメータは第1段階の形態モデルと同じ条件を用いた。

2.2 制御系

進化の過程でロボットの形態を変化させ、形態に適した歩行パターンを生成させるためには、そのロボットの制御系も変化させる必要がある。そこで本研究では、歩行運動

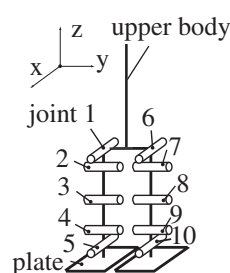


Fig. 1 the first model

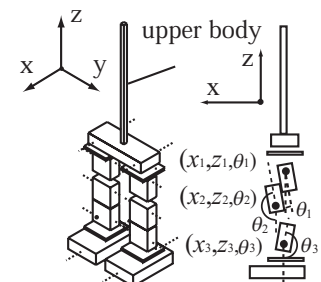


Fig. 2 the second model

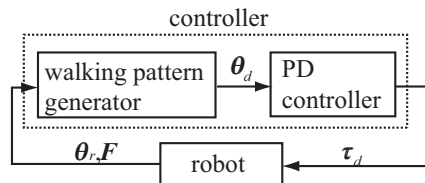


Fig. 3 controller

が周期的であり、左右が半周期の位相差をもつ対称的な運動であることに着目し、非線形な周期関数としてセントラルパターンジェネレータ (CPG) を用いた。ロボットのコントローラを Fig.3 に示す。 θ_d , τ_d , θ_r , F はそれぞれ、各関節の目標角度、目標トルク、現在の角度、地面からの反力を示す。歩行パターンジェネレータは CPG を組み合わせたものを用いた。CPG には、相互抑制モデルを組み合わせたものを採用した。1 つの相互抑制モデルは 2 つのニューロンから構成されており、相互に抑制結合をもつために、交互に興奮と抑制を繰り返す、ある周期的なパターンが出力される。この出力が各関節の目標角度に変換される。進化の過程では、ニューロンの結合係数、フィードバック要素などの重みが変化するものとする。

歩行パターンジェネレータにより出力された歩行パターンは、PD コントローラによりトルクに変換される。PD コントローラの各ゲインには、市販のサーボモジュールをシステム同定した結果を用いた。

2.3 進化的計算手法

本研究では、形態と歩行パターンを同時に生成するため、多変数を同時に最適化する必要がある。そのため、多変数の最適化が容易な遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた。また、GA の各パラメータは個体数 200、世代数 300、交叉率 0.8、突然変異率 0.05 とした。

遺伝操作を行った後に、10 秒間の 2 次元力学シミュレーションにより実際に歩行を行わせることによって、すべての個体を評価する。移動環境は、外乱のない平地とした。また、シミュレーションの時間ステップは 0.1ms とした。

第 1 段階では、

$$fitness_1 = \sum_k (width_0 - |width_k - width_0|) \quad (1)$$

のような評価関数を用いた。ただし、 $width_0$ は初期状態の歩幅、 $width_k$ は歩行中、遊脚が地面についた瞬間の歩幅である。つまり、一定の歩幅で長い距離移動できるものほど、高い評価を得ることになる。

つぎに、第 2 段階では、ロボットの設計を多目的最適化問題としてとらえ、2 つの評価関数を用いた。1 つめは、式 (1) を用いた。もう 1 つは

$$fitness_2 = \frac{l_g}{\int |\dot{\theta}_{upper}| dt} \quad (2)$$

である。ただし、 $\dot{\theta}_{upper}$ は上半身に相当するリンクの絶対座標における角速度に相当する。つまり、上半身の揺れが小さいものほど高い適応度を得ることができる。将来、2 足歩行ロボットが歩行しながら作業することを考えると、安定した作業を行うために、これらの評価関数は有効であると考えられる。

3 結果と考察

第 2 段階の進化的計算が終了したときの選好解の形態と歩行パターンを Fig.4 に示す。進化の過程で、ラジコン

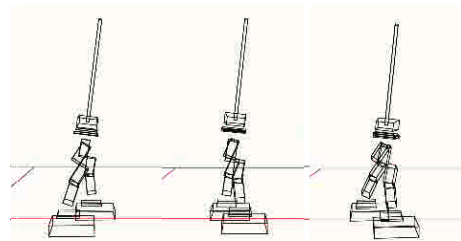


Fig. 4 walking pattern of simulation model

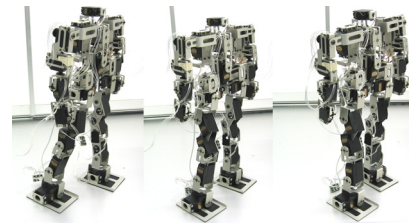


Fig. 5 walking pattern of real robot

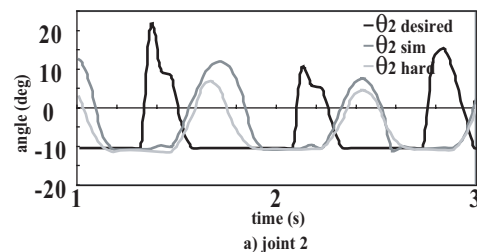


Fig. 6 angle of joint 2

用サーボモータの配置位置と歩行パターンを同時に最適化をしたため、最適な組み合わせが獲得できた。

つぎに、計算結果を用いて、実際にロボットの開発を行い、歩行制御を行なった。Fig.5 に実ロボットの歩行の様子を示す。また、関節 2 の目標角度とシミュレーション結果と実際のロボットの関節角度を Fig.6 に示す。このように、シミュレーションで実際に用いるロボットの構成要素の特性を考慮してあるため、実ロボットはシミュレーション結果とほぼ同じ動作を示した。このことから、本手法が実ロボットの開発に有効であることが確認できた。

4 結論

本研究では、形態と歩行パターンの共進化に基づいた 2 足歩行ロボットの設計法を提案し、実際に本手法を用いてサーボモジュールで構成される 2 足歩行ロボットの開発を行った。その結果、妥当な形態と歩行パターンを獲得することができ、その結果を実際のロボットの開発に用いることが可能であることを確認した。

謝辞

本研究は、一部において文部科学省創造科学技術推進事業 (ERATO)、基礎的研究発展推進事業 (SORST)、および空軍科学研究所 (AFOSR/AOARD) の援助を受けました。ここに感謝いたします。

【参考文献】

- (1) Ken Endo, Takashi Maeno, Hiroaki Kiano, "Co-evolution of Morphology and Walking Pattern of Biped Humanoid Robot using Evolutionary Computation", *Proceeding of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.340-345, 2003.