

-3次元モデルを用いた手法の確立と評価-

Designing Method for Biped Walking Robot
based on Co-evolution of Morphology and Walking Pattern

-Method for 3 dimensional model and its Evaluation-

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

Ken ENDO, Japan Science and Technology Corp. 6-31-15 M31, Jingumae, Shibuyaku, Tokyo
Takashi MAENO, Keio University

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

In this paper, designing method for morphology and walking pattern of biped walking robots is suggested using the evolutionary computation. The morphology and control systems 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 servomodels for radio control car are used in the structure of robot. The geometries and orientations of servomotors are emerged. 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. With these method, the valid morphology and walking pattern are emerged. Moreover, emerged solutions are superior to ones which are emerged by method using fixed morphology.

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。しかし、ロボットの開発には、まずロボットを構成する要素や構造を決定した後、実際に試作してからシミュレーションや実機を用いて制御系を開発し、最後に問題点改善のための再設計を行う、といった試行錯誤の繰り返しが行われてきた。すなわち、ロボットの機構と運動には密接な関係があるにもかかわらず、仕様決定後に機構系設計と制御系開発が別々に行われているのである。そのため、設計における問題点が発見されるのは制御系開発時である場合が多く、再設計が必要となる。特に、2足歩行ロボットの開発には高度な技術が要求されるため、何度も再設計が行われている。一方、生物は進化の過程で形態と運動パターンを同時に変化させながら生存環境に適応してきた。そこで、構造設計の段階から形態と歩行パターン、および目的のタスクを行うことを同時に考慮した設計法を用いれば、試行錯誤の段階を省き、与えられたタスクをより容易に達成できるロボットの開発を行うことができると考えられる。さらに、形態と運動パターンを同時に考慮することにより、解空間が広がり、より優秀な個体を探索することも可能となる。そのため、本研究では進化的計算手法を用いて2足歩行ロボットの形態と歩行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、3次元モデルを用いた手法を確立するために、ある程度単純な3次元モデルをあつかってきた⁽¹⁾。本稿では、より詳細なモデルを用いた手法を提案し、ロボットの形態があらかじめ決定してあるものと変化するものとの比較を行い、本手法の妥当性を確認する。

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、3.19 kg/mとし、また、足先から腰までの長さは一定で0.28 mとした。これらの値は従来のPINOの値を参考にした⁽²⁾。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-3 Nmから3 Nmとした。第2段階では、Fig. 2のような形態を用い、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る。

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

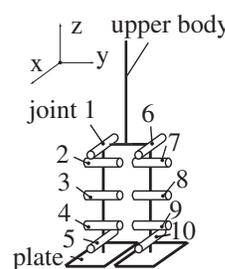


Fig. 1 3D link model

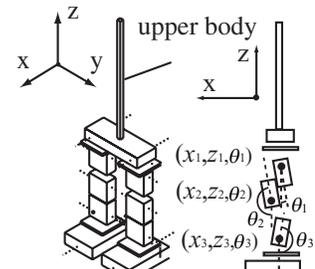


Fig. 2 3D detail model

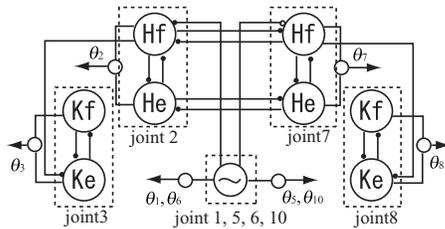


Fig. 3 PG model for 3D model

動であることに着目し、非線形な周期関数としてパターンジェネレータ (PG) を用いた。ロボットに用いる神経系を Fig. 3 を示す。各 PG には相互抑制モデルを用いる⁽³⁾。1 つの PG 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し、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。

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、多変数を扱うことができ、最適化が容易な遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた。また、GA の各パラメータは以下のようにした。

Population	200
Generation	300
Crossover rate	0.8
Mutation rate	0.05

遺伝操作を行った後に、10 秒間の 2 次元動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 0.5ms 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。

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

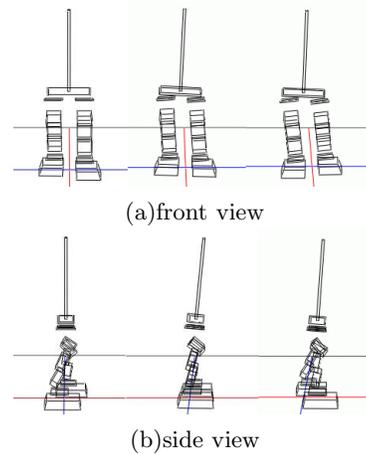


Fig. 4 walking pattern of the best robot of 3D detail model

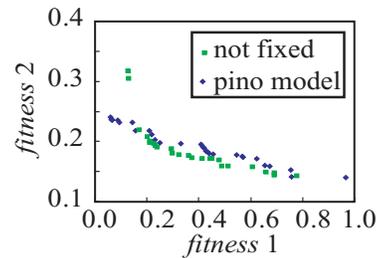


Fig. 5 pareto optimal solutions

をしたため、最適な組み合わせが得られている。また、ロボットの形態を表現するために詳細なモデルを用いているので、運動パターンだけではなく、得られた形態もそのまま実ロボットに利用することができる。このように、本研究で提案したロボットの形態と歩行パターンの同時設計法は実ロボットへの適用が充分可能な手法であるといえる。

また、最終世代のパレート最適解と、形態を PINO の構造に固定した条件で計算した際のパレート最適解を Fig. 5 に示す。この図から、あらかじめ形態が決定されている場合よりも、本手法で生成された個体の方がすぐれているため、形態と歩行パターンを同時に考慮することの妥当性を確認することができたといえる。

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た。詳細な 3 次元形態モデルを用いて、ロボットの詳細な形態とそれに適した歩行パターンを生成させることができたことから、本手法は妥当な解を生成させ得る手法であることを確認した。また、形態が固定している場合と比べ、本手法が優れていることを確認した。

【参考文献】

- (1) K. Endo, T. Maeno and H. Kitano, "Co-evolution of Morphology and Walking Pattern of Biped Humanoid Robot using Evolutionary Computation -Consideration of characteristic of the servomotors-", *Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, pp.2678-2683, 2002.
- (2) F. Yamasaki, T. Matsui, T. Miyashita and H. Kitano, "PINO The Humanoid that Walk", *Int. Conf. Humanoid Robots*, CDROM, 2000.
- (3) K. Matsuo, "Sustained Oscillations Generated by Mutually Inhibiting neurons with Adaptation", *Biological Cybernetics*, pp.367-376, 1985.