

2 足歩行ロボットの進化的設計法

-形態及び踵とつま先を用いた歩行パターンの生成-

Evolutionary Design of Biped Walking Robot

-Generation of Morphology and Walking Pattern using Toes and Heels-

○ 非 遠藤謙 (fuRo/慶應大) 非 北野宏明 (Sony/ERATO-SORST) 正 前野隆司 (慶應大)

Ken ENDO, Future Robotics Technology Center(fuRo), Chiba Institute of Technology
Hiroaki KITANO, Sony CSL, ERATO-SORST Kitano Symbiotic Systems Project
Takashi MAENO, Keio University

In this paper, designing method for morphology and walking pattern of biped walking robots is suggested using the evolutionary computation. We assume the servomotors for radio control car are used in the structure of robot. The geometries and orientations of servomotors are generated. Controller is composed of Central Pattern Generator (CPG) at each joint including ankle joints. 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, Walking pattern depends on fitness functions.

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

1 はじめに

ロボットの開発過程では、機構設計と制御系開発が別々に行われるのが通常である。しかし、これは設計解空間における最適化が適切に行われていないことになる。すなわち、制御則と機構という2種の設計変数が同時に最適化されるのではなく、例えば、ある特定の制御則という拘束条件のもとで機構の最適化が行われるような手法が行われるために、解空間内全体が探索されているとはいえないという問題がある。一般的に、人工物の設計においては、本来独立でない設計変数間の相互作用を単純化したり、設計変数を固定することによって、解の探索を容易にする代償として、一部の解空間を無視してきた。このような手法は、解空間の構造が単純で設計変数の単純化や無視が適切な場合には有効である。しかし、設計変数が多く解空間構造が複雑な場合には適切な解を見落してしまう可能性が極めて大きい。つまり、上述の手順でロボットを開発している場合は、制御則、機構ともに十分に最適化を行うことは不可能であり、これらは同時に最適化される必要がある。

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應してきた。そこで、2足歩行ロボットの開発において、構造設計の段階から形態と歩行パターン、及び評価関数を同時に考慮した設計法を用いれば、両者の最適化を適切に行うことが可能となる。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、機構にラジコン用のサーボモータを用いることを想定し、この特性を考慮した3次元モデルを用いた設計法を確立した⁽¹⁾。本稿では、足首にもニューロンを配置したコントローラを用いることにより、より高度な歩行パターンを生成し、評価関数と歩行パターンの関係を考察する。

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

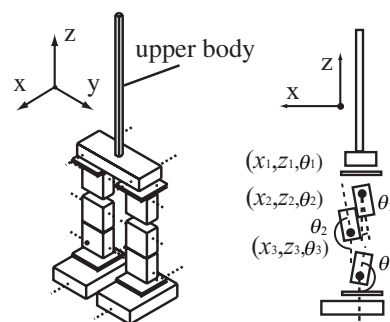


Fig. 1 3D detail model

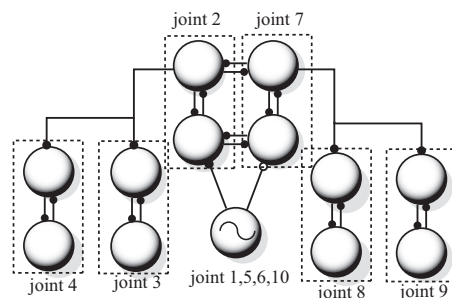


Fig. 2 controller

的な設計手法を確立する必要がある。そのため、形態にはラジコン用のサーボモータを用いることを想定し、Fig. 1のようなモデルを用いた。足先から腰までの長さは一定で0.28 mとし、図中の6つのサーボモータの配置位置を設計パラメータとした。サーボモータの質量・重心位置・慣性モーメント・動特性などはあらかじめ、システム同定を行い、動力学シミュレーションで用いた。

2.2 制御系

歩行パターンを生成させるために、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動であることに着目し、非線形な周期関数として神経振動子 (CPG) を用いた。ロボットに用いるコントローラを Fig. 2 を示す。各 CPG には相互抑制モデルを用いる。1

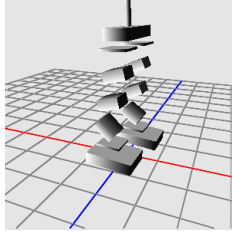


Fig. 3 servomotor arrangement

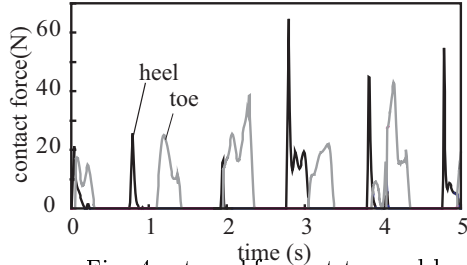


Fig. 4 external force at toe and heel

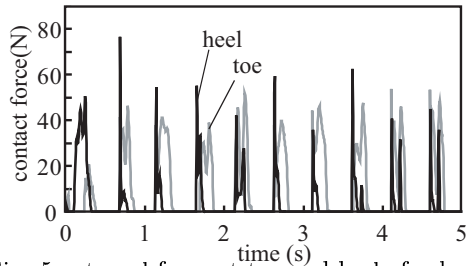


Fig. 5 external force at toe and heel of robot with the best $fitness_1$

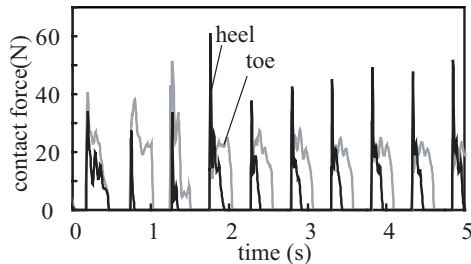


Fig. 6 external force at toe and heel of robot with the best $fitness_2$

つの CPG 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わるものとする。これまでは、足首には足先のプレートが常に地面と平行になるようなトルクを加えていたが、本稿では、足首関節にも CPG を配置し、歩行に足首関節が接触的に用いられるようにした。

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 0.1ms とした。

評価関数には以下のように単純に移動距離を用いた。

$$fitness_1 = l_g \quad (1)$$

ただし、 l_g をシミュレーション終了時のロボットの重心位置の位置とする。

3 結果と考察

3.1 計算結果と考察

最終世代の最適な個体のサーボモータの配置位置を Fig. 3 に示す。このように、本設計法は形態モデルを詳細に考慮してあるため、そのまま実機の設計の参考にすることができる。さらに、本手法は歩行パターンの最適化も同時に行われているため、この結果を実ロボットの制御にも用いることができる。生成された歩行パターンは膝関節を常に伸ばした状態で歩行を行っている。これはサーボモータの位置制御器によるコンプライアンスの低さのためであると考えられる。また、Fig. 4 に歩行中における左足の踵とつま先に働く地面からの床反力を示す。このように、このロボットは歩行中遊脚が地面と接触するときには踵から着地し、支持脚が地面から離れるときにはつま先で地面を蹴りだす動作が確認できる。

3.2 評価関数について

次に 2 つの評価関数を用いて、ロボットの設計の多目的最適化を行った。1 つめの評価関数は式 (1) を用いた。2 つめの評価関数は

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

を用いた。ただし、 $\dot{\theta}_{upper}$ は上半身のリンクの角速度とした。つまり、上半身のリンクの動きが小さいものほど大きな評価を得ることになる。遺伝的アルゴリズムは上述の計算と同じ条件で行った。Fig.6, ?? に最終世代において最も $fitness_1$ が大きかった解と $fitness_2$ が大きかった解の歩行中におけるつま先と踵に加わる地面からの反力を示す。この図から、移動距離が大きいものほど、つま先で地面を強く蹴っていることがわかる。

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。形態モデルには、ラジコン用のサーボモータを用いることを想定し、特性をシミュレーションで用いた。歩行パターンの生成には足首を含む各関節に CPG をもつコントローラを用いた。移動距離のみを評価関数に用いた結果、踵とつま先を用いた高度な歩行パターンが生成された。さらに、移動距離が長いものほど、つま先で強く地面を蹴っていることが確認できた。

【参考文献】

- (1) Ken Endo, Takashi Maeno, Hiroaki Kitano, "Co-evolution of Morphology and Walking Pattern of Biped Walking Robot using evolutionary Computation", *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.1362-1367, 2003.