

物理モデリングに基づく多足人工生物の行動獲得

北海道大学大学院情報科学研究科 尾尻 和也, 鈴木 育男, 山本 雅人, 古川 正志

Action acquisition of multi-legged artificial creature on the basis of physics modeling

Hokkaido University Kazuya OJIRI, Ikuo SUZUKI, Masahito YAMAMOTO, Masashi FURUKAWA

This study attempts to acquire autonomous behaviors on an artificial creature with multi-legs. We adopted physics modeling to represent the artificial creature in a virtual environment governed by the physics law. The model is equipped with actuator, controller, and self-evolution mechanism. Simulation results show the creature successfully acquires harmonious walking. Furthermore, we discuss the obtained behaviors by comparing with a real multi-legged organism.

1. はじめに

現在, 人工生物の行動を生成, 獲得するための研究が, 人工生命の分野をはじめとして様々な分野で多く実施されている¹⁾. この研究の中で, 物理法則に基づき自律的に行動するモデルを設計しシミュレーションを行うことには多くの応用が期待できる. ここで目的とするモデルの振る舞いは, 人工生命の研究をはじめ, 機械の自動制御, 及び現実感のあるCGの制作など, 幅広い問題に応用可能である.

モデルとして多足生物を扱うことにも多くの利点がある. 多足生物は, 多くの足を持つことによる安定性・耐故障性を有し, 脚により接地点を選ぶことができるため, 高い不整地踏破性を持つという特徴がある. また, 歩行のようなあるパターンが存在する運動の中で, 足数の少ない小規模なモデルで行動を獲得し, より足数の多い大規模なモデルへ拡張するような学習行動が扱いやすい.

これらを踏まえ, 本研究では多足人工生物に焦点を当て, ムカデを模した剛体モデルに対し, 自律的に各足の制御規則を学習し, 歩行行動の獲得が可能であるかを検証する. このため, その基礎問題として, 足数の少ないモデルによる学習を行い, その学習結果に大きな変更を加えなくてもより足数の多いモデルへ拡張可能かを検証する. これらの研究をもとに, 不整地走破性を有する多足生物の歩行発現を目指す.

2. 多足生物の歩行パターン

昆虫やムカデのように多数の足を持つ生物に共通して見られる歩行パターンの特徴として, 次の3点が挙げられる²⁾.

1. 接地していない足が波のように後ろ足から前足(または前足から後ろ足)に移動する.
2. 左右に対称配置された足は逆位相で動く.
3. 各脚の非接地時間はあらゆる移動速度で一定である.

図1は昆虫において1歩行周期内で各足が接地か非接地かを歩行周期で正規化して表したグラフであり, 太線が接地状態である. グラフの左から右へ移るほど移動速度が速くなっているが, 移動速度により位相差が変化している様子がわかる. 実在するムカデにおいてもこの特徴を有し, 本稿の実験で得たモデルの行動がその特徴を持つか検証する.

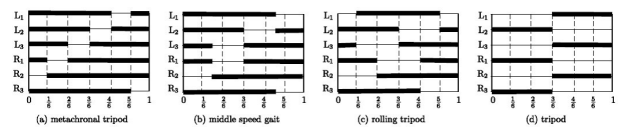


Fig. 1 Gait Diagram³⁾(縦軸の L,R は足の左右, 数字は前足からの順)

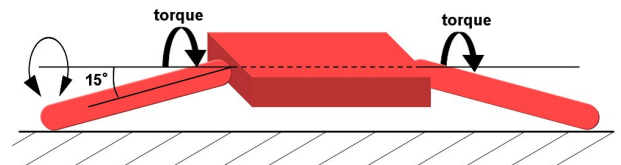


Fig. 2 Centipede segment model

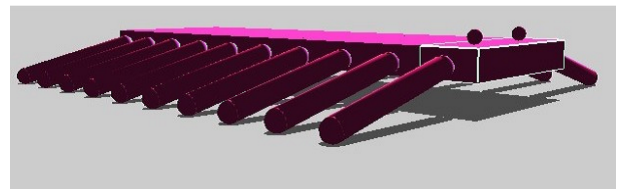


Fig. 3 A centipede model

3. 多足生物モデル

本研究では, 多足人工生物を対象とし, 足数に変化を加えても基本のモデル構造があまり変化しないムカデを模したモデルを扱う.

3.1 ムカデモデル

図2で示されるように, 直方体で作られた胴に左右1本ずつの足が胴の側面1点でそれぞれ接続されているものを1つの節とし, 多数の節を直列に連結することによってムカデモデルを作成する(図3). それぞれの部品(胴, 足)は質量を持つ剛体で作成する. 足は左右の足の接続点を結ぶ直線から15°傾けた位置にあり, その軸周りを自由に回転できる. 左右それぞれの足にトルクを加え回転させることで推進力を与える. 本稿では, 節と節を繋ぐ胴の部分は完全固定とする.

3.2 制御系設定

モデルの足の回転トルク制御にはニューラルコントローラを用いた. このコントローラは, 一つの節に付く左右の足の回転トルクをそれぞれ制御する. コントローラは, 前後及び

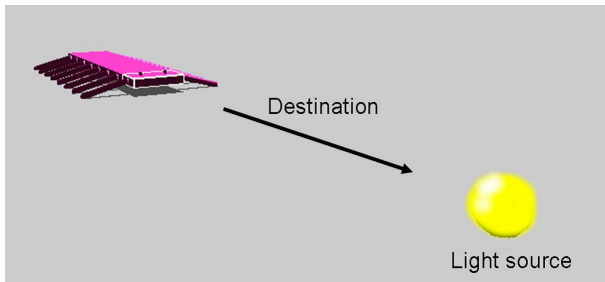


Fig. 4 Simulated experiment

自身の節に付く左右それぞれの足の角度, 角速度を入力情報とし, 次ステップにおける左右の脚の回転トルクを算出する.

4. 行動獲得実験

行動獲得には, 人工ニューラルネットワーク (ANN) と遺伝的アルゴリズム (GA) を利用した. ムカデモデルが光源へ向かって移動する振る舞いの獲得を目指すシミュレーション実験を行った (図 4).

4.1 物理シミュレーション

シミュレーションにおける数値計算は, NVIDIA 社⁴⁾で提供している物理エンジン「PhysX」を利用し, 物理法則に従って各時間における物体の振る舞いを求めた. 物理法則に従う空間でシミュレートすることによって, 複雑なモデルにおける衝突検出など, 現実空間で行う実験により近い結果を容易に得ることができる.

4.2 実験内容

ニューラルコントローラの結合荷重を実数型遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA) を用いて最適化する. 全ての節において同一のコントローラにより足の回転トルクを算出し, 得られた個々の節の挙動が合成されることでモデル全体の振る舞いとなる.

4.3 実験条件

シミュレーション及び GA の実験条件を以下の様に設定した. 本実験では, ムカデモデルの体節数を 8 とし, 足数 16 の多足人口生物モデルを設定した. 制御機には 3 層階層構造の ANN を採用した. 各層のニューロン数は入力層 18, 隠れ層 20, 及び出力層 2 である.

GA の条件は, 個体数 20, 世代数 300 とし, エリート保存法を用いた. エリート以外残る 19 体の内, 15 体を評価値上位 5 個体からルーレット選択し, 交叉率 95% で二点交叉させ, 残る 4 体をランダムな値で初期化する. 最後にエリート以外の個体に対し確率 10% で突然変異を適用する. 評価関数として, ステップ毎のモデル先頭の節の重心と光源との距離を求め, 累積する関数を設定した. この評価関数によって得られる累積距離の最小化を目指す.

実験では, 1 ステップ (1/60 秒) ごとにモデルがコントローラに従い振る舞い, 500 シミュレーションステップを各個体の試行とした.

4.4 実験結果・考察

シミュレーションの様子を図 5-図 8 に示す. 今回の実験で獲得した最も光源へ向かって前進する振る舞いは, 全ての足が前方で接地した状態 (図 5) から一斉に回転し, 水泳のバタフライのように胴体を前方へ持ち上げ (図 6), 胴が移動した後に足を前方へ回転させる (図 7) という運動であった. これは, 評価関数の中に胴体の上下動に対する評価項を含まなかった

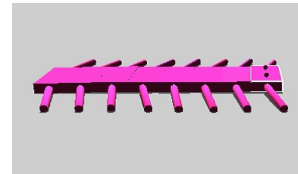


Fig. 5 Action result. 1

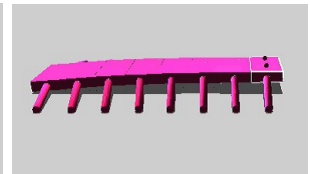


Fig. 6 Action result. 2

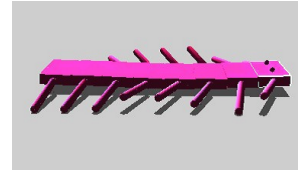


Fig. 7 Action result. 3

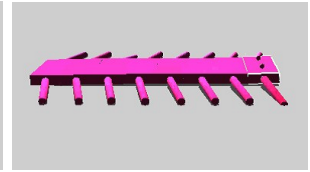


Fig. 8 Action result. final

こと, 制御機の出力をトルクで与えているため, 接地した瞬間など大きな抵抗が発生した場合に制御機が表現しようとした軌道と大きくずれてしまうこと, 振動子を持たない同一のコントローラで制御しているため, 足の角度が一度そろった同じ出力をしてしまう, などの問題によるものであると考えられる.

ここで得られた振る舞いは, 位相がずれるような周期運動ではなかったため, ムカデモデルの体節数を大きく (50 程度) しても前進することができた.

しかし, 得られた運動は, 足のみを接地させて行う運動ではないので, 歩行運動とは考えにくい. 歩行パターンを生成することができなかったため実在の生物の歩行パターンと比較することはできなかった.

これらの問題点を解決するために, 足のみを接地させ移動できるような評価関数の設定や, 振動子の導入の検討などを行う必要がある.

5. 終わりに

本研究では, 多足人工生物としてムカデモデルを取り上げ, 多足人工生物が歩行パターンを自律的に獲得するための学習実験を行った. 実験では, モデルの節単位で独立した制御を行い, モデル全体として歩行パターンの生成を目指した. また, 足数の少ない小規模なモデルで学習した結果を足数の大きい大規模なモデルで利用することが可能か検証することにより, 大規模なモデルにおける学習の単純化を目指した. 今回の実験では歩行パターンを得ることができなかったが, 評価項を改善するなどして整地での歩行獲得を実現し, 今後は多足生物の有用性が見込まれる不整地での歩行可能性などを研究しながら, 不整地での歩行実験を行う. また実在の生物は, 図 1 からわかるように移動速度により足の接地時間や位相差が変化する. 消費エネルギーを評価するような評価項を加えることによってこの現象の再現を目指すことも今後の課題として挙げられる.

参考文献

- 1) Karl Sims: Evolving Virtual Creatures.
- 2) D.M.Wilson: InsectWalking. Annual Review of Entomology(11), 1966.
- 3) 稲垣伸吉: 自律分散型多脚歩行ロボットの歩行パターン生成に関する研究, 2003.
- 4) NVIDIA Corporation: <http://www.nvidia.com/>.
- 5) K. Yoneda, K. Iwadata, I. Suzuki, M. Yamamoto, M. Furukawa: Development of Modeling Tools for Animated Robot, Fourth International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, 2008.