

令和元年6月28日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00361

研究課題名(和文) 運動に宿る身体表現仮説のロボットによる検証

研究課題名(英文) Motion-driven Embodiment in a Quadruped Robot

研究代表者

池本 有助 (Ikemoto, Yusuke)

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号：10377822

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではビヘイビアアプローチに注目し、運動データから制御手法を探索することにした。そこで本研究では、ロボットのセンサ・アクチュエータデータの特徴量を導出・分析し、それぞれの特徴量が歩行運動に与える役割を調査した。開発した多点的な運動データを取得可能な四脚ロボットを用いて、運動のデータをオンラインで取得した。そして、自己符号化器を用いて特徴量を抽出し、運動データを3つまたは、4つの特徴に分解した。また、一つの運動データから異なる複数の歩容パターンが抽出されることを見出した。この結果は、ハードウェアを介した運動データが様々な運動パターンから成り立っていることを示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、自律ロボットやペットロボットなどの、環境変化を無視できない機械が注目されている。したがって、巨大で複雑なシステムの制御の必要性が高まっている。このようなシステムを一つの制御器で全体を制御することは困難であるため、制御器が多様性や柔軟性などを有することが重要である。本研究の特徴であるセンサ・モータデータの低次元化は動物の歩容パターンをシステムでの入出力として、事前に選定する必要のない、方法論であり、ロボットの新奇運動生成を議論するための分析方法、延いては設計論へつながる可能性を有するという点で意義がある。

研究成果の概要(英文)： We derive and analyze the feature values of robot sensor and actuator data, and we investigate the role that each feature value plays in robot locomotion. We conduct experiments using a developed quadruped robot from which we acquire multi-point motion information as the movement data, and we extract the features of those movement data using an autoencoder. From this, we decompose the movement data into three features and extract multiple different gait patterns. Despite learning only walking movement, the movement patterns of trotting and galloping are also extracted, which suggests that movement data obtained via hardware contain various gait patterns. Although the present robot cannot locomote with these movements, this research suggests the possibility of generating unlearned movements

研究分野：ロボティクス

キーワード：脚ロボット 機械学習 ネットワーク 自律分散システム ビヘイビア・アプローチ

1. 研究開始当初の背景

動物はその行動を周囲の環境変化に適応させている。これは動物に限定されず、ロボットでも期待される機能である。近年、自律型ロボットやペットロボットなどの環境の変化を無視できない機械に注目が集まっている。そして、この環境の変化に対応するために巨大で複雑なシステムを制御する必要性が増している。このようなシステムでは、一つの制御器でシステム全体を制御することは困難であり、制御器は多様性や柔軟性などの特性を有することが重要である。現在、これらを解決するための新たなシステム構成や制御方法が研究されており、多くの研究が歩行ロボットに注目している。その中でも近年、歩行が古くから観察され、詳細に解析されている四脚動物（四脚歩行動物）の周囲環境に対応する歩容パターン遷移が注目されている。

四脚動物の歩行運動は、ウォーク、トロット、ギャロップなどの複数の歩行パターンに分類されている[1]。このような、複数の運動の種類は、少数のモジュールの柔軟な組み合わせから生成されているとされている。言い換えれば、動物の歩行や飛行などの単純な基本動作には複数のパターンがあるが、それらは主に複数の周期的な現象の組み合わせである。また、動きが異なる複数の名前に分類されているのを見ると、これらの異なる動きの間に定性的に異なるものがあることが示唆できる。そして、四脚動物は移動速度に応じて最適な歩行パターンを選択することが知られている。これらの事から、移動速度は連続的に変化しているのに対して、動きは不連続に変化するが、動物は転倒することなく歩容を遷移させている。この四脚動物の歩容遷移を解明しようと多くの研究者が試みており、研究には長い歴史がある。まず、歩容パターンにおける脚間協調の性質は、様々な観察方法を用いて巨視的なレベルで研究されてきた。例えば、四脚動物の歩容運動は脳のような高いレベルで生成されるのではなく、小脳や脊椎、CPG (Central Pattern Generator) のようなかなり低いレベルで生成されていると示唆できる。よって、動物の運動を生成するプロセスは、ロボットの行動生成に関する分野で、将来興味深い議論へと展開されるであろう。

2. 研究の目的

本研究は四脚歩行の歩容に内在する協調のパターンを理論的に調査する。四脚のリズム運動を捉えるために、特に四脚間の協調のみに着目する。本研究の目的は、ロボットのセンサ・アクチュエータデータの特徴量を導出・解析することで、それぞれの特徴量が運動に与える影響を調べることである。本研究は Fig. 1.1 の流れで研究を行う。

我々は、多点的に運動データをオンラインで取得可能な四脚歩行ロボットを開発した。これを用いて運動データを収集し、自己符号化器を用いて、データの特徴量を抽出した。その結果、運動データを3つまたは、4つの特徴に分解した。また1つの歩容パターンから異なる複数の歩容パターンが抽出されることを確認した。

3. 研究の方法

(1) 実験システムの構築

運動を正確に調べるためには、ロボットは様々な歩容パターンを実現する必要があり、モータ制御と高速センシング能力を備えたハードウェアが必要である。本研究では、運動データ (Table 3.1) を多点的に取得可能な四脚ロボット (図1) を開発し、運動データ取得実験を行った。ロボットの姿勢を安定させながら脚先の位置を制御する場合、自由度 (DOF: Degree of freedom) が大きいと、制御が非常に複雑になる。したがって、我々は各脚を2自由度に設計し、計8自由度でロボットを開発した。開発したロボットの重量は2.3[Kg]であり、各種34項目のセンサデータをオンラインで取得可能である。

(2) 実験方法

ロボットの運動データ取得実験をトレッドミル上で行う (Fig. 3.8)。トレッドミルの速度は、PC上に我々が作成した速度調整テーブルを用いて行う。これを行うために、リレー回路を用いて、マイクロコントローラ (Arduino) で制御を行った。さらに、トレッドミルの速度はロボットがトレッドミルの中心で歩行できる速度で動くように設定している。

実験は、ロボットにある歩容パターンを実行するようにプログラムし、ロボットに歩行させ、搭載されたセンサから運動データを計測する。運動データ計測実験は、センサデータ取得周期約 25[ms]で5秒間

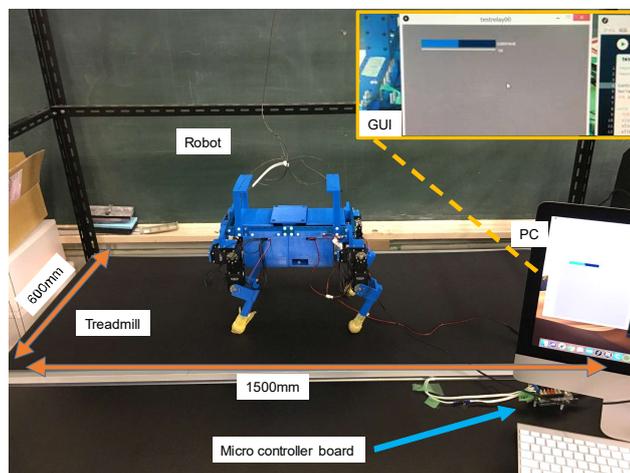


図1 開発したロボットおよび実験システム

行う。この実験を同じ条件で13回行う。12回は機械学習で用いる訓練データ、1回は機械学習で用いるテストデータとする。

本実験では、ウォークとトロットの2パターンの運動データを取得する。四脚動物は歩容パターンを移動速度が速くなるに伴い、ウォークからトロット、トロットからギャロップと変化させる。最初に出現（低速で出現）するのがウォークであること（Fig. 2.1）、動物観察を行った際多くの動物がウォークで歩行していたことから、運動データ取得実験ではロボットが再現するパターンとしてウォークを選択して実験を行った。ウォークとの比較実験のために、トロットの運動データの取得も行った。

本実験で脚先に描かせる半楕円軌道の条件を（Table. 3.3）に示す。ウォークの場合、RH, RF, LH, LFの順で 0.5π ずつ位相をずらして動作させた。トロットの場合は、対角の脚を組みにして、他の組と逆位相になるように動作させた。

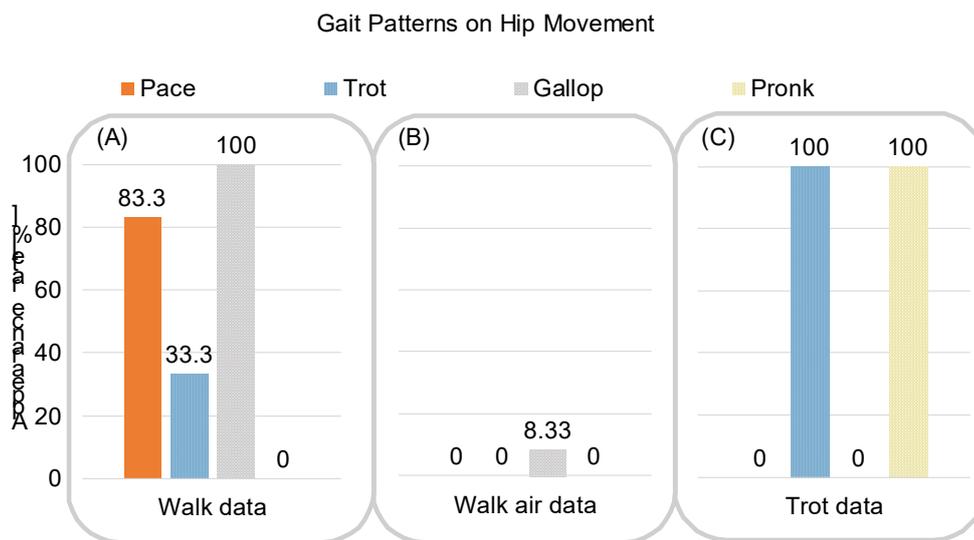


図2 実験結果のまとめ

4. 研究成果

中間層に3つのニューロンを有するオートエンコーダを用いて、ウォークの運動データを訓練データとして学習させた。次にウォークのテストデータ（5[s]のデータ）を学習後のオートエンコーダに入力し、中間層3（特徴空間）に現れる波形を確認した。ここでは、周期1[s]の波と周期0.5[s]の波が現れることを確認した。さらに、抽出した特徴の運動データに対する役割を調査するため、中間層3のニューロン二つを無効化し、一つずつ使用してロボットを動作させた。そして、それぞれの特徴が表現する動きをロボットにおいて確認した。ロボットにオートエンコーダの出力層で出力された関節角度データを入力し、動きを調べた。

まず、中間層3の特徴量（ニューロン）を全て使用した結果をロボットで確認した。ロボットの動作、算出した位相差を確認すると、RH, RF, LH, LFが順番に動いている結果が得られた。このことから、ロボットはウォークのパターンで運動したことが確認された。さらに、この結果からネットワークの特徴を抽出する学習が実行されたことが確認できた。この実験により、自己符号化器は出力データが入力データと同じになるようにオートエンコーダが学習されたことが確認された。

次に、特徴を一つずつ確認し、出現した動きを評価した。結果、我々はウォークの特徴内に他の動きのパターンの要素を発見した。見つけた歩容パターンの要素はペース、トロット、ギャロップであった。我々は今回行った学習と同じ条件で事前学習から学習を12回繰り返し行い、各特徴の出力結果を確認し、各歩容パターンの出現率を算出した。出現した動きの結果をまとめたものを図2に示す。実験結果より、トロットの運動の特徴を抽出することにより、トロットやギャロップの運動の特徴を有することが観察された。これら特徴内に現れた運動は、オートエンコーダの学習に用いた運動データ（ウォーク）とは全く異なるものである。つまり、ウォークの運動のみを学習したのにも関わらず、他の歩容パターンの位相差の特徴が含まれていることが示唆される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計1件）

① Y. Ikemoto and K. Sekiyama, Evolution of Modular Networks Under Selection for Non-Linearly Denoising. Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.20, No.5, pp.705-711. (2016) 【査読有】

〔学会発表〕(計 5件)

①石井, 池本

四脚ロボットの歩容情報をオンラインで取得可能な実験システムの開発
日本機械学会東海支部 第67期講演会(2018-03)【査読無】

②山本, 池本,

多点的な運動情報をパラレルに取得可能な四脚動物疑似ロボットの開発
日本機械学会東海支部 第67期講演会(2018-03)【査読無】

③ H. Yamamoto, Y. Ishii, S. Kim, and Y. Ikemoto,

Decomposition of movement data of quadruped robot by using Autoencoder,
IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics,
DOI:10.1109/robio.2018.8665059 (2018-12) 【査読有】

④ Y. Ishii, H. Yamamoto, S. Kim, and Y. Ikemoto,

Development of the Experimental System that can Acquire the Gait Data Online in a Quadruped
Robot.

29th 2018 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (2018-12)
【査読有】

⑤ 山本, 石井, 池本

運動データの分解・統合による四脚ロボットの歩容パターン生成. ロボティクス・メカトロニ
クス講演会(2018-06) 【査読無】【日本機械学会若手優秀講演フェロー賞, 山本紘暉】

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

無し

〔その他〕

依頼講演

①池本, 制御ネットワークとモジュラリティ. 第22回創発システム・シンポジウム, 2016-08-24
- 2016-08-26

②池本, 機械制御工学から見た人工知能, 自動車技術会中部支部技術交流会, 2016-07-15

6. 研究組織

(1) 研究分担者

無し

(2) 研究協力者

無し

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。