

令和元年5月28日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H06575

研究課題名（和文）新陳代謝を伴う超長時間訓練を通じて多様な運動を学習するソフトロボットの構成法

研究課題名（英文）Soft robots learning various motions by long training with replacing parts

研究代表者

田中 一敏（Tanaka, Kazutoshi）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任研究員

研究者番号：10805774

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：柔らかいロボットが、古くなった部品を取り替えながら学習できるよう、部品ごとのまとめ、モジュールを開発した。圧縮空気動くロボットを想定し、モジュールそのものと、モジュール内に配置される部品、コンプレッサ、シリンダ、タンクなどを開発した。加えて、ロボットが学習する手法を開発した。柔らかいロボットが運動を学習できるよう、試行錯誤の運動結果に基づいて、新しい状況で運動できる動作生成法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の学術的意義は、ソフトロボットのハードウェアおよびソフトウェアの進展である。従来のロボットは硬い部品から成るが、ソフトロボットの身体は柔らかい。柔らかさを活用して従来困難であったタスクを達成できるが、硬い身体を前提とした従来の方法は使えない。このため、本研究の取り組みが貢献した。社会的意義として、人間のそばで動くロボットは柔らかい必要がある。安全のためである。そのような安全なロボットの実現に貢献した。

研究成果の概要（英文）：We developed a module for each soft part so that soft robots can learn while replacing old parts. Assuming a compressed air-moving robot, we have developed the module itself and the parts, compressors, cylinders, tanks, etc. that will be placed in the module. In addition, we developed a method for robots to learn. We have developed a motion generation method that can move in new situations based on trial and error movement results so that soft robots can learn movement.

研究分野：知能ロボティクス

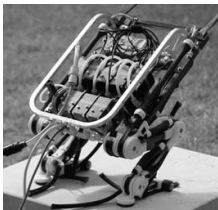
キーワード：ソフトロボット 機械学習 運動学習

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、ソフトロボットの研究領域は活発化している。専門の学術雑誌が創刊され、関連技術の発展が加速している。一方で、硬いロボットのように多様な状況下で適応的に運動するソフトロボットの構成法は分かっていない。これは、従来の制御手法をソフトロボットに適用することが難しいためである。なぜなら、従来手法は剛体リンク系で近似可能な身体と制御性の高い駆動系を前提しており、ソフトロボットはそれらを満たさないからである。

近年、深層強化学習などの機械学習手法が様々なタスクに対して高い有用性を示す報告が相次いでいる。この学習はロボットの運動にも適用され、バラ積みされた物体の把持移動[Levine+, 2016]や、多感覚入力から運動指令の直接的な学習[Levine+, 2015]などが実現された。しかし、運動学習には多数の訓練試行が必要とされる。加えて、訓練試行における身体の変化は許容されない。このため、訓練試行において身体が消耗・破損して変化する柔軟なソフトロボットが運動学習を行うことは難しい。



[Niiyama+, 2006]



[Shepherd+, 2011]



[Soft Robotics Inc.]



[Brown+, 2010]

2. 研究の目的

ソフトロボットは身体の柔軟性を活用してタスクを遂行するロボットである。近年、このロボットに関連する技術の発展が加速している。しかし、このロボットが状況適応的な運動を生成する方法は未だ確立されていない。このような運動を生成する方法として、運動学習が挙げられる。しかし、柔軟な素材から身体が構成されるソフトロボットは、運動学習に必要な多数の試行に耐えられない。そこで本研究では、身体部位の交換を伴うことで、超多数の試行を行い、多様な運動を学習するソフトロボットの構成法を構築する。このため、申請者が行ってきた状況適応的な運動を行うソフトロボットの構成法を拡張し、発展させる。本研究で得られる成果により、状況適応的な運動を行うソフトロボットが初めて実現する。さらに、運動学習を適用可能なロボットの種類が大幅に拡大する。加えて、柔軟な身体を有する生物知能の理解に貢献する。

3. 研究の方法

新陳代謝を伴う超長時間訓練を通じて多様な運動を学習するソフトロボットの構成法を構築する。まず、交換に適した身体モジュールを開発する。このモジュールは、安価な空気圧アクチュエータと多数のセンサから構成される。従来のロボットと比較して、ソフトロボットは状態

の自由度が大きい。このため、試作と評価を反復して、ロボットの状態を同定するのに十分なセンサの種類、数、および配置を検討する。次に、身体部位の交換を伴う運動学習手法を開発する。この運動学習において、ロボットの状況を逐次的に変化させることで多様な運動を獲得させる。同時に、運動と感覚の関係性（運動感覚連関）を学習させる。訓練中、ロボットの身体は摩耗などで変化する。このため、運動感覚連関を身体状態に由来する部分と身体変化に不変な部分に分割し、モジュールごとに組織化する。これにより、変化する身体で運動感覚連関を学習することが可能になる。

4. 研究成果

運動学習を行う空気圧ロボットのセンサ・アクチュエータモジュールを開発した。このモジュールに搭載するセンサやアクチュエータなどの構成部品を個別に開発し、ロボットに搭載して評価するとともに、これらを統合する設計解を導出し、製作、改良した。

張力センサを備えた空気圧人工筋を開発し、この人工筋を搭載した、外骨格型運動教示システムの開発に成功した。この教示システムを用いて、モデル化することなしに、空気圧人工筋を備えたロボットに運動を直感的に教示することに成功した。加えて、軽量小型で高出力の空気圧アクチュエータを開発し、このアクチュエータを備えたロボットアームとヒト型ロボットの開発に成功した。このロボットアームとヒト型ロボットによって、スポーツ選手が行う、巧みなダイナミック運動を実現した。具体的には、このロボットアームによる、バドミントンのシャトルをラケットで巧みに打撃する動作を実現した。また、ヒト型ロボットによって、バレーボール選手が行う一種のレシーブ動作のように、跳躍してボールを打撃する動作を実現した。さらに、このセンサ・アクチュエータモジュールに搭載するための、軽量小型コンプレッサ、および軽量小型電磁弁を開発し、改良した。ここでも、跳躍などのダイナミックな運動を行う自律型空気圧ロボットのサイズと重量を仮定し、所望の跳躍高さを実現するための出力時系列を計算し、この出力時系列に必要な流量を計算した。仮定したサイズと重量と必要な流量を満たすコンプレッサと電磁弁の設計解を導出し、製作した。

また、このセンサ・アクチュエータモジュールを搭載した脚式ロボットが達成すべき跳躍高さから、このモジュールに要求されるセンサ構成および出力特性などの仕様を計算した。この仕様を踏まえて、センサ・アクチュエータモジュールを設計、試作、評価し、改良を行った。

環境が変化しても過去の経験を活用して短時間で学習するための方法を開発した。ソフトロボットが、運動の経験を蓄積し、新しい運動を学習する枠組みの構築を試みた。空気圧人工筋を備えたソフトロボットを想定し、人間の新生児の運動を模倣することで、多様な運動を獲得する手法を開発した。人間の新生児の運動として、光学式モーションキャプチャを用いて計測したものを用いた。ロボットの学習に対する示唆を得るため、新生時の運動の発達的な変化の特徴について調べた。他に、逐次的かつ自律的に運動能力を成長させるための学習手法を開発した。そこでは、ロボット自身が自身の能力を評価し、環境中に適切な目標を自律的に

設定して、学習する。さらに、ソフトロボットが、自己の経験のみから、位置、速度、タイミングを満たす過渡的な高速運動を生成するための、運動制御学習手法を開発し、単一のシリンダにおいて有用性を示した。

センサやバルブの制御基板とシングルボードコンピュータを省スペースに接続し、スケールするための基板を開発した。この基板を用いて、タンク、バルブ、シリンダ、計算機を搭載したモジュールを開発した。この基板を搭載したソフトな、空気圧駆動型のヒト型ロボットを開発した。これによる即応的な全身運動の学習法とそれを行うロボットの設計論をさらに洗練させた。実機を用いた跳躍打撃動作実験を行い、多数回の跳躍打撃に成功した。モジュールをさらに洗練すべく、回転型の電磁弁や、小型で低振動のコンプレッサーを開発した。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

"High-speed and Lightweight Humanoid Robot Arm for a Skillful Badminton Robot".
Shotaro Mori, Kazutoshi Tanaka, Satoshi Nishikawa, Ryuma Niiyama and Yasuo Kuniyoshi.
IEEE Robotics and Automation Letters,
Vol.3, No.3, pp.1727-1734, 2018.
DOI: 10.1109/LRA.2018.2803207

〔学会発表〕(計4件)

Bilateral Teleoperation System for a Musculoskeletal Robot Arm using a Musculoskeletal Exoskeleton.

Xi Chen, Satoshi Nishikawa, Kazutoshi Tanaka, Ryuma Niiyama and Yasuo Kuniyoshi.
In Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2017),
pp.2734-2739, Macau, China, Dec. 2017.

Humanoid robot performing jump-and-hit motions using structure-integrated pneumatic cable cylinders.

Kazutoshi Tanaka, Satoshi Nishikawa, Ryuma Niiyama and Yasuo Kuniyoshi.
In Proceedings of IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2017),
pp.696-702, Birmingham, UK, Nov. 2017.

DETAILED FULL BODY MOTION ANALYSIS TECHNIQUE FOR HUMAN NEONATES AND INFANTS.

Hoshinori KanazawaKazutoshi TanakaMasahiko Kawai,Yasuo Kuniyoshi.

the World Confederation for Physical Therapy Congress, May 2019.

Early developmental change in inter-muscle sensorimotor modules of human infants:
Preliminary results.

Hoshinori Kanazawa, Yasunori Yamada, Kazutoshi Tanaka, Masahiko Kawai, Yasuo Kuniyoshi.

Neural Control of Movement, Apr. 2019.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.isi.imi.i.u-tokyo.ac.jp/publication/>

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

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。