

令和 2 年 9 月 2 日現在

機関番号：94301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H06472・19K21540

研究課題名（和文）適応的身体表現に基づくヒューマノイドロボットの全身最適制御

研究課題名（英文）Full-body optimal control of a humanoid robot using an adaptive model extraction

研究代表者

石原 弘二（Ishihara, Koji）

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・研究員

研究者番号：40822531

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）：ヒューマノイドロボットのような多くの関節を持つロボットに対し、最適制御を用いて運動を生成することは、多くの計算時間がかかるため困難だった。そこで本研究では、運動タスクの達成に必要な身体部位を導出し、その低次元の身体表現のもとで最適制御による運動生成を行う手法を開発した。計算時間は身体表現に含まれる部位の数に依存するため、より少ない身体部位のもとで最適制御を行うことで計算時間の短縮を実現でき、ヒューマノイドロボットの運動をリアルタイムに生成できるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒューマノイドロボットが様々なタスクをヒトの替わりに行うことは、自然災害への対応、超高齢化社会、労働力不足などの社会的課題への共通の解決策として広く期待されている。この実現のためには、ヒューマノイドロボットには様々な運動を生成することが求められ、最適制御はそのような多様な運動を生成するための有効な方法である。本研究は、従来の方法では困難であった、最適制御を用いたヒューマノイドロボットの全身の運動生成を可能にした点で学術的意義が高く、実際にヒューマノイドロボットの様々な運動を生成可能であることを明らかにしているため、社会的意義も高いと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Whole-body motions of a humanoid robot cannot be generated using an optimal control approach due to its large computational burden. To cope with this problem, we developed a framework for extracting a small degree-of-freedom (DoF) model of a humanoid robot, and generating the robot's movements using the optimal control approach with the extracted model. Since the computational complexity of the optimal control approach depends on the number of DoF in a model, motion generation with the small DoF model can reduce the computational time. We showed that a variety of movements of a humanoid robot were successfully generated in real time with the proposed framework.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：最適制御 ヒューマノイドロボット 低次元モデル 運動生成

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、ロボットの制御技術開発の促進を目的とした、DARPA Robotics Challenge などのプロジェクトが積極的に行われており、ヒューマノイドロボットがヒトの代替として様々な動作タスクを行うことが期待されている。これに対して最適制御は、ロボットの達成すべき目標を設定すれば、最適化によって運動を生成できるため、多様な運動生成を容易に行うことができるという期待から注目されている。しかし、ヒューマノイドロボットのような自由度の高い対象を制御するには、多くの計算時間がかかるため、昨今の計算機環境を用いても運動の生成が間に合わず、ヒューマノイドロボットの運動生成に最適制御を利用することは困難だった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、この計算時間の問題を解決し最適制御を用いたヒューマノイドロボットの多様な運動生成を実現することである。最適制御ではロボットの身体表現 (モデル) を用いて運動の最適化を行う。その際の計算時間は、身体表現に含まれる自由度に比例して大きくなる。そこで本研究では、動作タスクの目標達成に必要な身体表現の低次元表現を導出する方法を提案し、導出した身体表現のもとで最適制御によって運動生成を行う手法を開発する。

3. 研究の方法

本研究では、動作タスクを遂行する際の身体部位は、速い運動を行わなければならないものと遅い運動を行えばよいものに分けることができると考えた。計算負荷の高い細かな最適化を必要とするのは、速い運動を担う身体部位のみであり、この低次元の身体表現のみを細かく最適化することで計算時間を削減することを考えた。

そのためにまず、ヒューマノイドロボットの全身の身体表現を解析し、速い運動を行う部位と遅い運動を行う部位に分けることができることを明らかにした。具体的には、四肢が速い運動を生成するのに必要な身体部位であることが分かった。

この発見をもとに、まず低次元の身体表現を得るために、最適制御問題を粗く高速に解くことでタスク達成に必要な四肢の身体表現を導出し、有効な身体表現に対する最適制御問題を細かく解きなおすことで運動生成を行う手法を開発した。

4. 研究成果

(1) 最適制御の計算時間の短縮

開発した手法によって運動生成に必要な計算時間を短縮できることを明らかにするために、実在するスケートパークのデザイン (<https://www.dreamlandskateparks.com/design-concept/>、図 1(a)参照) からバンプセクション (図 1(b)) とランプセクション (図 1(c)) を模したシミュレーション環境を構築し、ヒューマノイドロボットのスケート運動を生成した。この運動生成に要した計算時間と、従来の最適制御手法に要した計算時間の比較を図 2 に示す。多くの自由度を持つ全身のモデルに対し細かく最適化を行う従来の方法に対し、提案手法では少ない計算時間で運動を生成することが可能であり、リアルタイムでの運動生成を実現することができた。

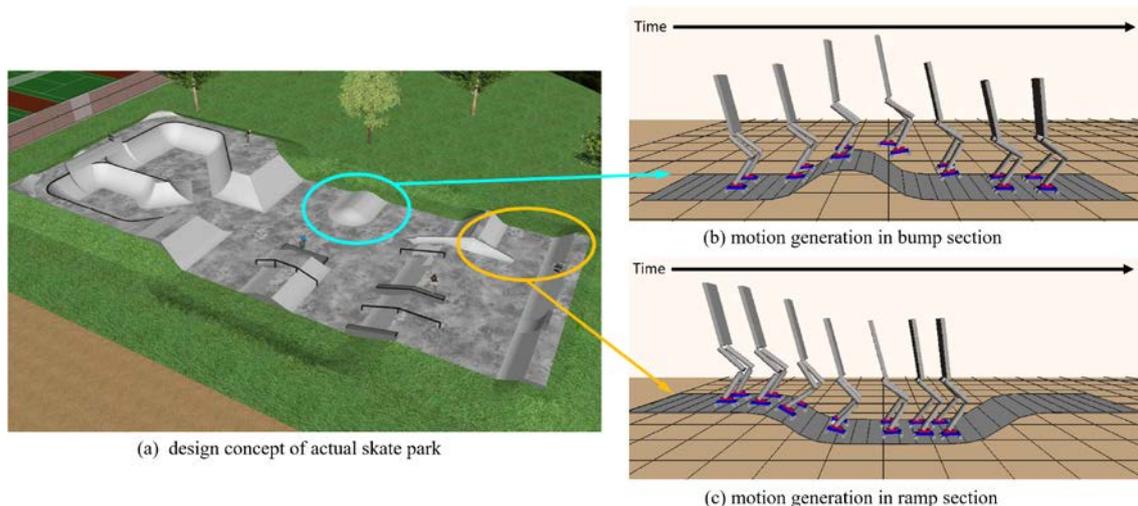


図 1 (a)実在するスケートパークのデザイン。(b)バンプセクションと (c)ランプセクションにおける提案法を用いたリアルタイム運動生成。

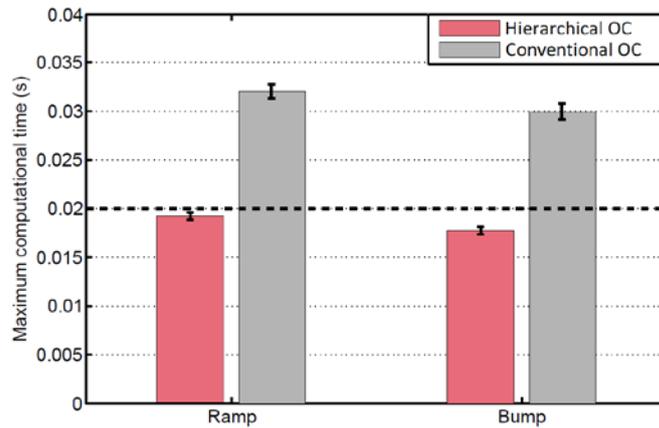


図2 提案法（赤）と従来法（グレー）の計算時間の比較。提案法は従来法に比べ少ない計算時間で運動を生成することが可能だった。

(2) ヒューマノイドロボットの多様な運動生成

提案法は、バンプ、ランプセクションにおける姿勢維持運動だけでなく、シミュレーション上のロボットによる前方宙返りと後方宙返り（図3）と、実機ロボットによるスロープの滑降運動（図4）をオンラインに生成できることを確認しており、最適制御を用いてヒューマノイドロボットの多様な運動生成を実現できることを明らかにした。

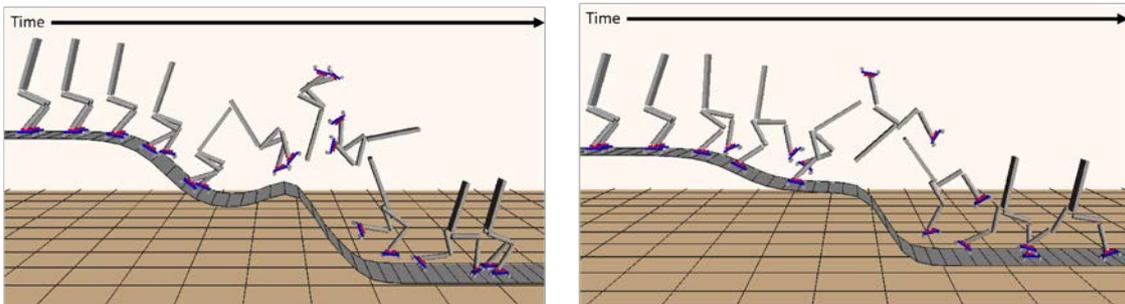


図3 提案法を用いた前方宙返り（左図）、後方宙返り（右図）の生成結果。

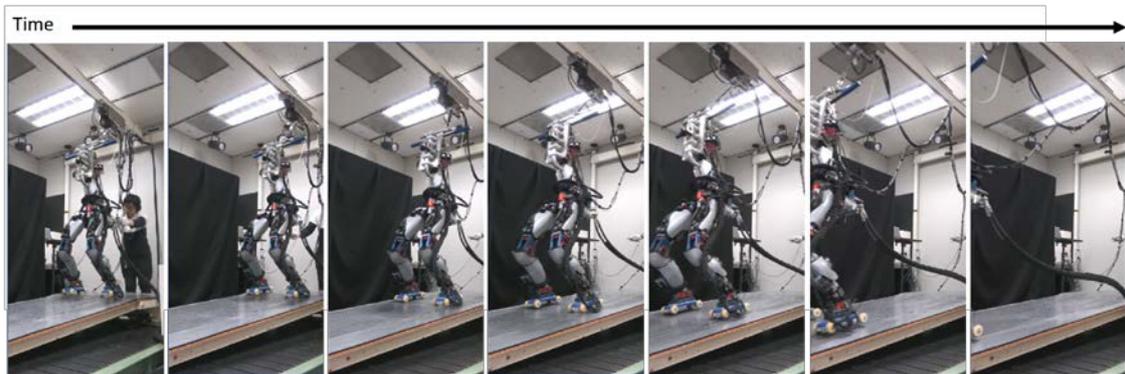


図4 提案法を用いたスロープの滑降運動の生成結果。

※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。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Ishihara Koji, Itoh Takeshi D., Morimoto Jun | 4. 巻 5 |
| 2. 論文標題 Full-Body Optimal Control Toward Versatile and Agile Behaviors in a Humanoid Robot | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters | 6. 最初と最後の頁 119 ~ 126 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2019.2947001 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ishihara Koji, Itoh Takeshi D., Morimoto Jun |
| 2. 発表標題 Full-Body Optimal Control Toward Versatile and Agile Behaviors in a Humanoid Robot |
| 3. 学会等名 2019 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (RA-L option) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 石原弘二 |
| 2. 発表標題 人型ロボットの階層的な全身運動制御 |
| 3. 学会等名 第9回脳型人工知能とその応用ミニワークショップ |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 石原弘二 |
| 2. 発表標題 階層モデルを用いた人型ロボットの運動生成 |
| 3. 学会等名 異分野融合ワークショップ「脳型情報処理によるロボットラーニングの技術革新」 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

ブレインロボットインタフェース研究室 Journal papers
<https://bicr.atr.jp/bri/publication/journal-papers/>

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|----------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 森本 淳 (Morimoto Jun) | | |