

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760224

研究課題名(和文) マルチボディモデルに基づく多自由度ロボットの動作計画

研究課題名(英文) Robot Motion Planning Based on Multi-Body Models

研究代表者

田崎 勇一 (Tazaki, Yuichi)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：10547433

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円、(間接経費) 630,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は智能ロボットの自律性の向上による人的コストの低減や利用可能分野の拡大を目指し、多自由度ロボットの動作計画手法の開発を行った。ロボットおよび作業環境をマルチボディモデルで表現し、異なる優先度を与えられた複数のタスクを達成するようなマルチボディの軌道計画問題を対象とし、その基本原理を明らかにするとともに有効な計画アルゴリズムを提案した。具体的な項目としては、干渉回避などの非凸制約の取り扱い、複数のタスクを順序的あるいは並列的に実行するスケジューリング、リアルタイム動作計画による実機の制御およびソフトウェアライブラリの整備に取り組んだ。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research is to develop a motion planning method for robots with many degrees of freedom in order to improve the autonomy of intelligent robots, and to reduce human operation cost and magnify the range of application. A robot and a workspace is expressed as a multi-body model, and trajectory planning of a multi-body model under several tasks with different priority levels is considered. Some basic principles of such a problem are studied and an efficient solution algorithm is proposed. Concrete topics studied during the grant period includes: treatment of non-convex constraints such as collision avoidance, scheduling of serial and parallel tasks, control of real robot based on real-time motion planning, and the development of software library for the proposed motion planning method.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：動作計画 多自由度ロボット マルチボディ

1. 研究開始当初の背景

知能ロボットは、多くの自由度を駆使して複雑かつ不確定な外環境において様々な作業を遂行しなければならない。多自由度ロボットのメリットは、状況に応じて使用する自由度を切り換えて柔軟にタスクを遂行できることにあるが、その実現には主として環境の複雑性(非線形性・非凸性)、問題の大規模化、多目的性の三つの問題がある。

複雑性への対処法としてはランダムイズによる方法が現在最もポピュラーであるが、適用可能な問題の規模が限られている。また、大規模系の制御には何らかの階層的アプローチがとられることが多い。しかしながら、効果的な階層化は個々の問題の深い理解を要するため、統一的な設計論は現れていない。また、階層化のためにはサブシステムの抽象化が不可避であるため、ロボットの本来の多自由度性をフルに活かすことができない。最後に多目的性とは、ロボットが複数のタスクを適切な順序で並行的に実行することを指す。これに対しては近年いくつかの研究例が報告されてきているものの、未だ黎明期にあるトピックである。

2. 研究の目的

本研究では、ロボットおよび作業環境をマルチボディモデルで表現し、異なる優先度を与えられた複数のタスクを達成するようなマルチボディの軌道計画問題を対象とし、その基本原理を明らかにするとともに有効な計画アルゴリズムを提案することを目的とする。

本手法では、作業に直接関与する剛体に拘束を課すだけで(軌道を明示せずに)全身運動が計画されるという利点がある。また、システム全体が大規模でも各変数や拘束は物理的意味を保存するため、直感的解釈が容易である。さらに、ロボット自身と作業環境を一つのマルチボディシステムとしてシームレスに表現できる。

しかしながら、大規模かつ複雑なタスクへの適用や実用性の向上のためには解決すべき課題も多く残されている。

3. 研究の方法

研究期間内では手法の多方面への拡張および数値シミュレーション・実機を用いた検証を同時並行的に行った。H23年度は特に干渉回避などの非凸問題の大域的最適化とスケジューリングを要する複数タスクの計画問題への取り組みに重点を置いた。一方、H24年度は本手法の実用性の向上を図るため、実機への適用、評価に取り組んだ。また、第三者が容易に本手法を再利用できるようにするために、最適なユーザインタフェースの開発と、ソフトウェアとしての整備を進めた。H25年度では成果の論文化に取り組んだ他、実機評価を深めるため、あらたに実験用二足ロボットの製作を行った。

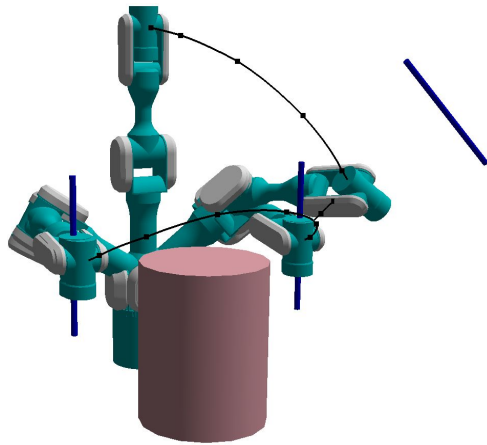
4. 研究成果

優先度つき多目的動作計画アルゴリズムの考案

異なる優先度を与えられた複数のタスクを達成する動作計画アルゴリズムの基本原則を提案した。具体的には、動作計画問題を目標計画の分野で知られている辞書式目標計画 (lexicographical goal programming) として記述し、優先度つき Pareto 最適性の概念によってその解集合を特徴づけた。さらに、この問題に対して効率的に求解する反復型アルゴリズムを提案した。

衝突回避制約の組み込み

干渉回避などの非凸問題の大域的最適化については、干渉回避を拘束条件として含むロボットアームのリーチング動作計画を実現した。しかし問題の非凸性を考慮した大域的な最適化に関する有効な方策は時間内に見出すことができなかったため、今後の課題としたい。

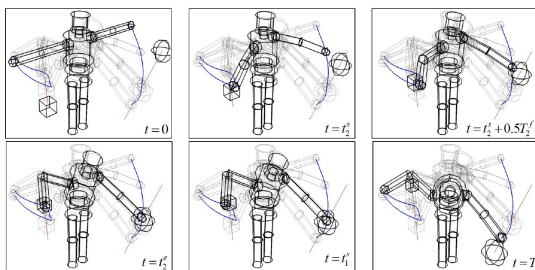


障害物（赤い円柱）を回避しながら目標物体へリーチングする軌道の計画結果

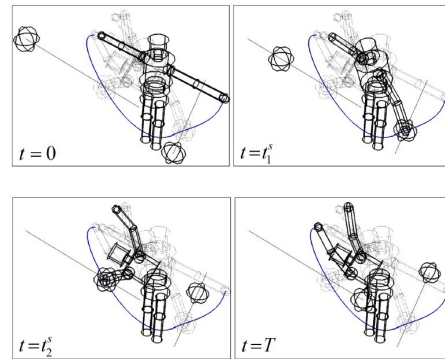
複数の並行タスクのスケジューリング

ロボットが人間の生活環境に適合するためには、部屋の整頓や料理など、複数のサブタスクを適切にスケジューリングし実行することでのみ達成可能な複合タスクを扱える必要がある。従来、このようなテーマは生産スケジューリングの分野で取り組まれてきたが、ロボットの身体が持つ動特性を考慮して最適な運動を生成するには新しい方法論が必要である。

これに対し、ロボットが複数のタスクを順序的、あるいは並列的に実行するための動作計画の記述方法とその解法をある程度明らかにした。しかしながら、現状では各タスクの実行順序は所与としているため、今後はタスクの実行順序の決定も動作計画の枠組みに含める方法を検討したい。



双腕ロボットによる並列リーチングタスク

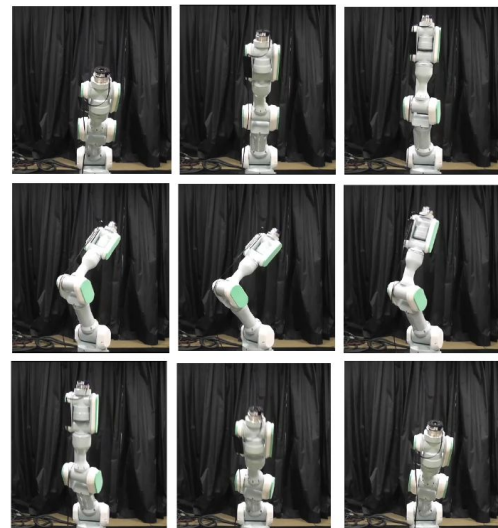


双腕ロボットによる順序リーチングタスク

実機への実装と評価

ロボットアームの実機に対して、所定の制御周期内で動作計画を行い、それをもとにロボットへの関節角度指令値を送信するリアルタイム制御系を構成し、実験により評価を行った。具体的には、人の舞踊動作を模してロボットアームの手先にいくつかの目標点（ポーズ）を設け、それらを所定の周期で行き来する軌道を生成した。また、目標点に異なる優先度を設け、ペースが速くなるにつれて優先度の高いポーズのみを達成することを確認した。

ただし、予定していた制御遅れの影響の考察や状態推定への応用には時間的理由により着手できなかった。



ロボットアーム実機を用いたリアルタイム軌道計画による舞踊動作

動作計画手法のソフトウェアライブラリとしての整備

マルチボディモデルのグラフ状構造は、視覚的理解が容易であることや記述性の高さが大きな利点である。多様なシーンを短時間に記述することを支援するため、XML ベースでマルチボディを記述し、これに基づいて自動的にプログラム上で動作計画問題を構築する仕組みを実装し、運用した。当初は GUI によるインタラクティブな操作を想定していたが、XML ベースの方式も実用的観点からそんな利便性を備えていると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

Y. Tazaki and T. Suzuki, Constraint-Based Prioritized Trajectory Planning for Multi-Body Systems, IEEE Transactions on Robotics (採録決定)

田崎勇一, 鈴木周一, 鈴木達也, マルチボディシステムの拘束ベース多目的軌道計画, 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.5, pp.508-516, 2013.

[学会発表](計3件)

S. Suzuki, Y. Tazaki and T. Suzuki, Simultaneous Optimization of Timing and Trajectory in Sequential and Parallel Tasks of Humanoid Robots, 2011 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp.596-601, October 26-28, 2011, Bled, Slovenia.

石井雅人, 田崎勇一, 鈴木達也, 多目的軌道計画器を用いたロボットアームの舞踊動作の生成と実機評価, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2P1-L02, May 23-24, 2013, つくば.

鈴木周一, 田崎勇一, 鈴木達也, ヒューマノイドの複合タスクにおける軌道とタイミングの同時最適化, 第29回日本ロボット学会学術講演会, 2J1-3, September 7-9, 2011, 東京.

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.suzlab.nuem.nagoya-u.ac.jp/~tazaki/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

田崎 勇一 (TAZAKI YUICHI)

名古屋大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 10547433

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし