

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 1 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760186

研究課題名(和文) 動的操りのための非ホロノミック性を有する内部ダイナミクス生成

研究課題名(英文) Generation of Internal Dynamics with Nonholonomy for Dynamic Manipulation

研究代表者

中島 明(Nakashima, Akira)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：70377836

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：介護・福祉や極限環境において人間の代替となるロボットを目指し、人間の技巧的動作の動的挙動と作業物体との接触の拘束の性質を解明し、それを利用した運動制御理論の構築を目指した。平成24年度は、ジャグリング問題の一環として、ロバスタな打ち上げの繰り返し、周期制御、壁打ちを実現した。また、打ち返し問題として、高速スピンを有する卓球ボールを望みの位置に打ち返すアルゴリズムを構築した。平成25年度は、摩擦の性質をLuGre摩擦モデルとして扱う新しい接触状態の切り替えを伴う新しいモデルの構築を行った。また、ボールの打ち返しにおいて、望みの打ち返しを実現するラケット運動を導出する逆問題の解析解を得た。

研究成果の概要(英文)：A new control method for motion planning where dexterity of human's dynamic manipulation and its constraint are taken into account has been proposed to achieve robots which can be alternative for labors in nursing care and hazardous environments. In 2012 year, a periodic motion planning for paddle juggling and wall juggling was achieved and a method for a robot to strike a highly spined coming ball to a desired point in a robotic table tennis system. In 2013 year, a new switching contact modeling was proposed where the dynamic friction model (LuGre model) was integrated. A new motion planning for the racket motion was also derived where the exact solution for the racket rebound model was obtained.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械力学、機械力学・制御

キーワード：ダイナミックマニピュレーション 内部ダイナミクス 非ホロノミック性 ジャグリング 押し搬送

1. 研究開始当初の背景

本研究は、人間の労働力の代替となるロボット、特に、日常生活での様々なタスク(介護、道具の把持・操り、飛来する物体の操りなど)を実現するロボットの実現を目標として、最も重要な運動計画について、人間の技巧的動作に内在する動的ダイナミクス、および作業物体との接触(拘束)の性質といった本質的な側面からアプローチすることで、新たな運動理論の構築を目指すものである。

2. 研究の目的

物体のマニピュレーションにおいては、物体を完全に拘束する静的な操りの他に、動的な操り、すなわちダイナミックマニピュレーションという考え方が存在する。例として、慣性を利用した素早い動き、不完全な拘束による動的効果を利用したもの、自由運動する物体に不連続的に作用することで望みの動作を実現する(ボールの打ち上げ、打ち返しなど)といったものが挙げられる。このような操りは、マニピュレータと操り対象の物体の接触、環境との接触、または衝突現象の挙動に大きく影響を受ける。そこで本研究では、対象となる動作の動的挙動の解析のみならず、現実的な摩擦の挙動を考慮した接触拘束のモデル化、離脱・衝突現象の解析を行うことで、接触による拘束に内在する本質的な動的性質(非ホロノミック性など)を含んだ動的性質を用いた操り理論の構築を進めていく。

3. 研究の方法

動的操りの一種として、ジャグリングに注目した。中でも、卓球ロボットによるボールの打ち上げの繰り返し、壁打ち制御を取り扱った(図1, 2)。

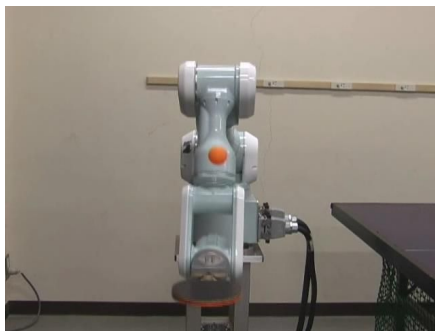


図1：打ち上げと壁打ち

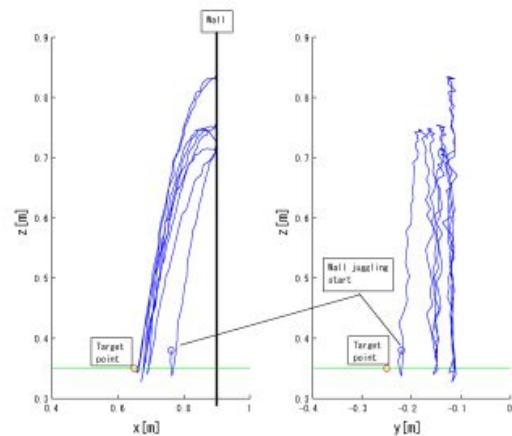
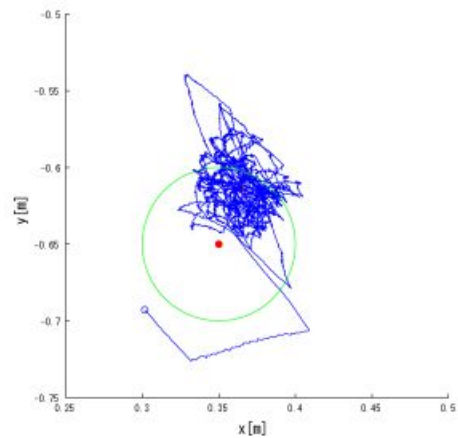


図2：打ち上げ(上)と壁打ち(下)の実験結果

打ち上げにおいては、仮想鏡面(ミラー面)を水平面に設定して、ボールの垂直方向の位置を仮想鏡面に関して反転・縮小した軌道をラケットの垂直位置とすることで、ビジュアルフィードバックによるボールの連続打ち上げを達成した。また壁打ちにおいては、エネルギー保存則に基づいたボールの落下位置の予測を用いることで、およそ7, 8回程度ではあるが、打ち返しを達成した。

一方で、卓球ロボットによるスピンのかかったボールの打ち返しアルゴリズムを提案し、実験機による実現に成功した(図3)。

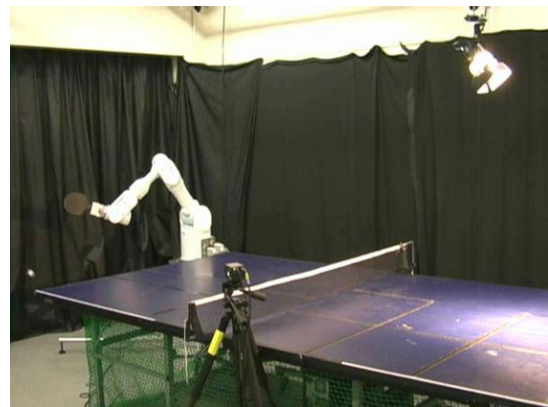


図3：飛来するスピンの打ち返し

実験結果として、飛来するボールと打ち返し動作を行なっているロボットの挙動の一例を図4に示す。

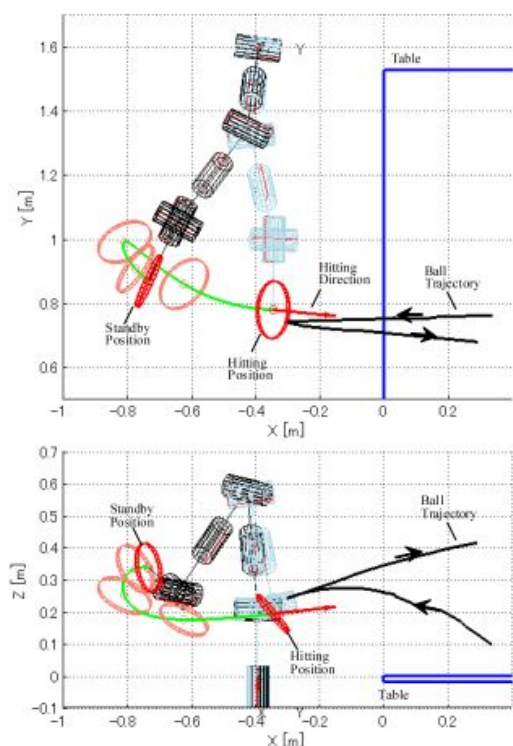


図4：ボールの打ち返しの一例

なお、ロボットの関節速度の制限を考慮した関節軌道の生成に成功した(図5)。

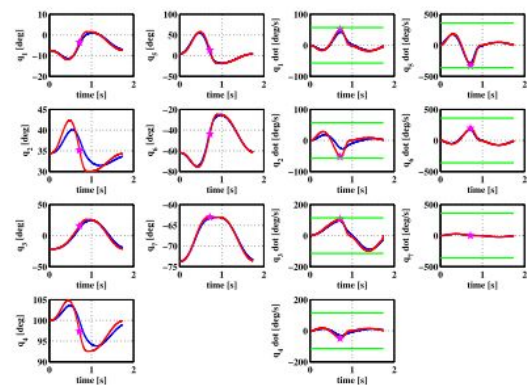


図5：関節の位置・速度軌道(緑線：上限)

拘束のである接触状態において、従来良く用いられているクーロン摩擦ではなく、動的な挙動を示す、より実際の性質に近いLuGre摩擦モデルを用いることを目指した(図6)。

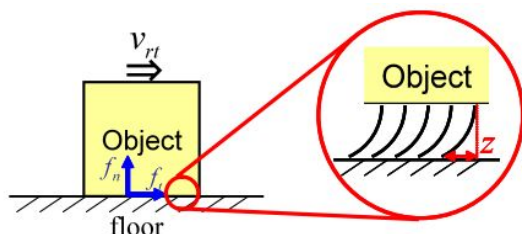


図6：LuGre摩擦モデルの概念図

図にあるように、LuGreモデルでは、物体と接触面の間に微小な仮定の刷毛を仮定する。この刷毛の動的な弾性の挙動によりバネや粘性を表現することが出来る。このLuGreモデルを衝突現象に取り入れるため、衝突を法線方向の力積に関する微分方程式として捉えるインパクトベースシミュレーションの考え方を採用した。ここでは、衝突を表現する物的な仮定として、ポアソンの法則を用いている(図7)。

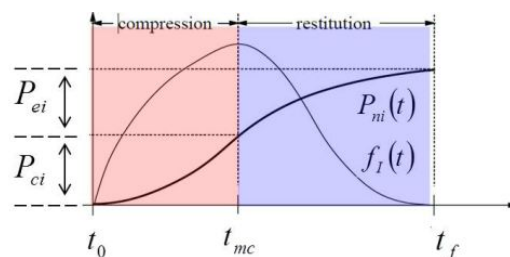


図7：圧縮と復元過程の力積の比

LuGreモデルを力積の微分方程式として表現することで、刷毛の変位は、衝突においては、衝突において蓄えられるエネルギーとして解釈できる新しい知見を得た。

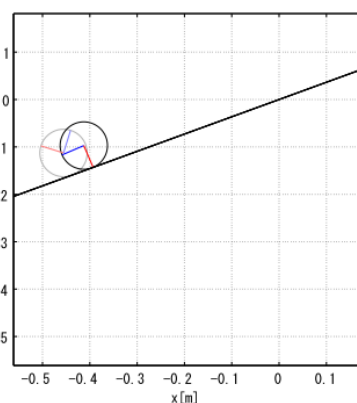
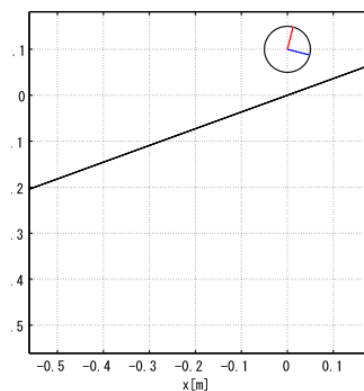


図8：落下するボールの挙動の比較

図8に、LuGreモデルを用いた場合とクーロン摩擦の場合の比較を示す。LuGreモデルを用いた場合は、刷毛にエネルギーが蓄えられるため、従来より摩擦が働くことが分かる。

4. 研究成果

ボールの打ち上げ，壁打ちにおいて，ボールの状態のフィードバックによる周期軌道を実現する手法を確立した．また，衝突現象に対して現実的な摩擦の挙動を表現可能なLuGreモデルを導入した新しい衝突現象のモデリングを提案した．本研究の成果により，対象の動的性質を利用した効率的な操りの実現に近づいている．また，これまで適用範囲が狭く現実的ではなかった，衝突現象モデルを新たに拡張することができた．

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 1 件)

C. Liu, Y. Hayakawa and A. Nakashima, "Racket Control for a Table Tennis Robot to Return a Ball," *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, 6(2), 2013, 259-266, 査読有り

[学会発表](計 9 件)

A. Nakashima, J. Nonomura, C. Liu and Y. Hayakawa, "Hitting Back-Spin Balls by Robotic Table Tennis System Based on Physical Models of Ball Motion," *Proceeding of 10th IFAC Symposium on Robot Control*, Dubrovnik, Croatia, pp. 752-759 (2012)

C. Liu, Y. Hayakawa and A. Nakashima, "Racket Control for Robot Playing Table Tennis Ball," *Proceeding of 12th International Conference on Control, Automation and Systems*, Jeju, Korea, pp. 1427-1432 (2012)

C. Liu, Y. Hayakawa and A. Nakashima, "Racket Control and its Experiments for Robot Playing Table Tennis," *Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, Guangzhou, China, pp. 1427-1432 (2012)

A. Nakashima and Y. Hayakawa, "Stable Region of Gravity Position of Object Grasped by Virtual Springs," *Proceeding of European Control Conference*, Zurich, Switzerland, pp. 803-808 (2013)

D. Ito, A. Nakashima and Y. Hayakawa, "An Online Algorithm of Two-point Boundary Value Problem for Aerodynamics Model in Table Tennis Robot," *Proceeding of SICE Annual Conference 2013*, Nagoya, Japan, pp. 644-648 (2013)

T. Okamoto, A. Nakashima and Y.

Hayakawa, "An Online Estimation of Ball States for Prediction of Ball Trajectory with Aerodynamics Model," *Proceeding of SICE Annual Conference 2013*, Nagoya, Japan, pp. 661-665 (2013)

H. Ooka, A. Nakashima and Y. Hayakawa, "Modeling of Grasping and Manipulation System by Dynamic Friction," *Proceeding of SICE Annual Conference 2013*, Nagoya, Japan, pp. 301-306 (2013)

岡本，中島，早川： "卓球ロボットによるサイドスピンボールの打ち返し" 第55回自動制御連合講演会 予稿集，京都大学，ID:2D303 (2012)

大岡，中島，早川： "多指ハンドロボットを用いた硬筆の把持および運筆の制御" 第55回自動制御連合講演会 予稿集，京都大学，ID:2H405 (2012)

[図書](計 1 件)

Nakashima and Y. Hayakawa, "Ping-Pong Ball Jugglings by Robot Manipulator based on Discrete Control System," in *Advances in Robotics -- Modeling, Control and Applications* (edited by Calin Ciufudean and Lino Garci'a), ISBN: 978-1-922227-05-8 (Hardcover), 978-1-461108-44-3 (Paperback), Publisher: iConcept Press Ltd. (2013)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

中島 明 (NAKASHIMA, Akira)

名古屋大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：70377836