

Title	A Study on the Dynamic Nonprehensile Manipulation of Deformable Objects
Author(s)	Ixchel, Georgina Ramirez Alpizar
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/11094/27556
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	イクシエル ヘルヒナ ラミレス アルピザル Ixchel Georgina Ramirez Alpizar
博士の専攻分野の名称	博士 (工学)
学位記番号	第 26191 号
学位授与年月日	平成25年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科機械工学専攻
学位論文名	A Study on the Dynamic Nonprehensile Manipulation of Deformable Objects (柔軟物体の動的非把持マニピュレーションに関する研究)
論文審査委員	(主査) 准教授 東森 充 (副査) 教授 金子 真 教授 大須賀 公一 教授 森島 圭祐

論文内容の要旨

The manipulation of an object made by a robot can be generally classified into two main types: grasping manipulation and nonprehensile manipulation. The former makes use of fingers to grasp or pick the object with dexterity and precision; while the latter uses a plate or a probe and manipulates the object without grasping it. The nonprehensile manipulation scheme was discussed in this work, which aimed to develop a manipulation strategy to rotate a deformable object effectively on a plate. A novel idea in this work was to aggressively utilize the object's dynamic deformation generated by high-speed vibrations of a simple flat plate. Such deformation of the object can drastically contribute to produce a fast and stable rotation. At first, for theoretical and simulation analysis, a viscoelastic multi-nodal model was introduced to represent the dynamic behavior of a deformable object. Through simulation analysis, it was discovered that the object's rotational behavior changes with respect to the plate's motion frequency in a way that is similar to a biped transitioning from a sliding to a walking and to a running gait. Also, the optimal plate motion and the optimal friction coefficient leading to the object's maximal angular velocity were obtained. The first one depends on the angular acceleration of the plate, while the second one depends on the type of gait-like behavior of the object. Next, it was explored how to estimate the physical parameters of a deformable object by a nonprehensile approach. In the proposed manipulation scheme, the object's high frequency in bending vibration is converted to a low frequency rotating motion as a result of the friction effect together with the object's gait-like behavior. This suggested that the information of two physical parameters of the object: the natural bending frequency and the friction between the object and the plate were included in the object's rotational velocity. Based on this idea, the

transition of the object's rotational velocity was characterized by a Lorentzian distribution function. Then the correlations of the Lorentz function parameters with the object's physical parameters were revealed. Using these correlations, an estimation method of these parameters by only observing the object's rotation velocity was proposed. Simulation and experimental results were shown to verify the validity of the proposed method.

論文審査の結果の要旨

本論文では、柔軟物体の非把持形態によるダイナミックマニピュレーションについて議論し、プレート型エンドエフェクタを有するロボットマニピュレータを用いて、効果的に柔軟物体の回転運動を操作する戦略を提案している。

第1章では、非把持形態による柔軟物体のマニピュレーションについて、期待できる利点を整理し、本研究の動機を示している。また、従来のマニピュレーション手法の分類を示し、提案手法の位置づけを明確にしている。

第2章では、はじめに、非把持形態によるマニピュレーションを実現するためのプレート型エンドエフェクタおよびロボットマニピュレータの設計指針について示している。次に、プレートの2自由度運動（並進、回転）を用いた対象物回転操作の基本原理解を示した後、基礎実験の結果として柔軟物体が剛体よりも高速に回転することを示し、柔軟物体の動的変形挙動が高速かつ安定な回転運動に多大に貢献することを明らかにしている。

第3章では、プレート上における柔軟物体の動的挙動を表現するシミュレーションモデルを導入している。柔軟物体は、粘弾性ユニットによって結合された質点ノード群によりモデル化し、粘弾性ユニットは並進、曲げ、ねじりの3自由度が組み込まれている。また、対象物の粘弾性パラメータを実験的に推定する手法および推定結果を示している。

第4章では、対象物の回転速度を最大化するための最適化問題について議論している。はじめに、食品の回転操作について、シミュレーションと実験結果が定性的に一致することを示し、モデルの妥当性を評価している。ここでは、柔軟物体の回転挙動について二足歩行運動との類似性を発見し、プレート運動周波数の増加に従って、すり足、歩行、走行の順に変化していくことを明らかにしている。次に、シミュレーション解析により、対象物の回転速度を最大化する最適プレート運動を獲得し、動的安定かつ高速な回転運動を生成するためには、プレートの回転角加速度が支配的であることを明らかにしている。さらに、歩行タイプに依存した最適摩擦係数が存在することも明らかにしている。

第5章では、提案した操り戦略をベースに、非把持形態により対象物の物理的パラメータを推定する手法について提案している。はじめに、プレート運動周波数の増加に対する対象物の回転速度遷移がローレンツ分布関数によって近似できることを示し、2つの物理的パラメータ（対象物の曲げ固有角振動数および摩擦係数）と2つの分布関数のパラメータに相関関係が存在することを明らかにしている。次に、この性質に基づき、対象物の2つの物理的パラメータを推定する手法を提案し、シミュレーションおよび実験により有効性を確認している。

第6章では、本研究の成果と今後の課題をまとめている。

以上のように、本論文は非把持形態による柔軟物体のダイナミックマニピュレーション手法を提案し、シミュレーションおよび実験により有効性を示している。ここで得られた知見は、学術的な価値を有するだけでなく、将来的に、食品製造分野あるいはバイオ・医療分野における柔軟物ハンドリングへの応用が期待できるものと見受けられる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。