

高速高機能ハンドリングに向けて

○平井 慎一

立命館大学 ロボティクス学科

Towards Fast and Dexterous Object Handling

○Shinichi Hirai

Dept. of Robotics, Ritsumeikan Univ.

Abstract - In this paper, I will summarize past researches at my laboratory on object handling and will investigate the research direction toward fast and dexterous object handling. Robust control based on coarse object models and realtime visual and tactile sensing are keys to fast and dexterous object handling.
keywords: handling, control, sensing, deformation

1. はじめに

剛体のハンドリングは、学術的・技術的に完成の域に達しているのに対し、柔軟物のハンドリングは、未開拓の領域である。また、柔軟物ハンドリングのニーズは、人と同程度以上の高速性を要求する。一方、柔軟物ハンドリングの基本的な原理が、近年徐々に明らかになっている。本報告では、著者らによるこれまでの研究を概観し、柔軟物の高速ハンドリングに向けて、今後の方向を探る。

2. 間接同時位置決め

衣服や靴下等の縫製においては、Fig.1に示すように、布地上の複数の点を位置決めする。このとき、位置決め点より十分離れた点を操作することにより、位置決めを実行する。これを、間接同時位置決め (indirect simultaneous positioning) とよぶ。間接同時位置決めでは、複数の操作点の運動と位置決め点の運動が干渉しているため、位置決めを実行するためには物体の力学モデルが不可欠である。一方、布地は、非線形性、ヒステリシス、非一様性を含む複雑な力学特性を示す。したがって、精密なモデリングならびにモデル同定は、困難である。

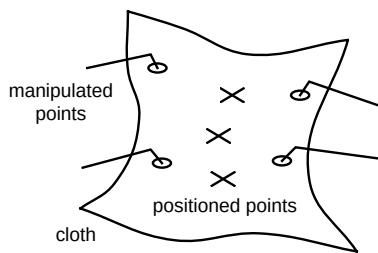


Fig.1: Indirect simultaneous positioning

以上のジレンマを解決する手法が、粗いモデル (coarse model) に基づくロバスト作業制御則である。この手法では、ハンドリングに必要な最小限の粗い物体モデルを構築する。物体モデルに含まれない特性は、モデルの不確定性とみなす。物体モデルをもとに、モデルの不確定性に対してロバストな制御則を導く。布地の間接同時位置決めを実現するためには、位置決め点の位置を計測することが不可欠である。そこで、Fig.2に示すように、位置決め点の位置を CCD カメラで計測する。また、操作点の位置を、ロボットフィンガーで制御する。以上のシステムにより、間接同時位置決

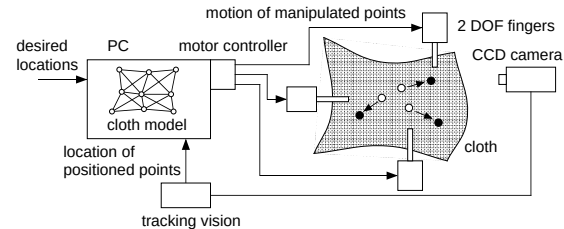


Fig.2: Control of indirect simultaneous positioning

めを実現するために、位置決め点の位置の計測値から操作点の運動を決定する制御則が導かれている [1]。

制御則のモデル化誤差に対するロバスト性が、実験的かつ理論的に示されている。物体モデルにおけるバネ係数が、実際の布におけるバネ係数の推定値に等しい場合のみならず、推定値の 10 倍、あるいは推定値の 1/10 倍程度にずれている場合においても、位置決めが実現できることが示された。また、ロバスト性の理論的な証明も一部成されている。

3. 柔軟物の把持操作

柔軟物をメカニカルフィンガーで把持し操作する場合、あるいは柔軟指により物体を把持し操作する場合、指または物体は接触領域において変形し、面接触を生じる。さらに、接触面において滑りや転がりが生じ、指と物体との相対的な位置関係が変化することも多い。柔軟物の把持や柔軟指による把持においては、指と物体との接触現象が複雑であり、これを精密にモデリングすることは困難である。したがって、粗いモデルに基づくロバストな作業制御則が有効である。

Fig.3に示すように、平面上の柔軟物体においては、三個の代表点の運動により、並進移動ならびに回転移動を表現できる。また、主要な変形も、代表点の運動により表現できる。このような代表点による記述を導入することにより、間接同時位置決めと同様の制御則を適用することができる。このとき、モデルでは、指と物体との相対的な位置関係は変化しないと仮定し、滑りや転がりを不確定性とみなす。以上の粗いモデルに基づいて、柔軟物体の挙動を制御する。Fig.3に示すように、三本のメカニカルフィンガーでスポンジを把持し、操作する。その結果、スポンジの並進移動、回転移動、変形を実現できる [2]。ここで興味深いのは、実現すべき挙動によっては、指と物体との間に滑りや転がりが生じ、指と物体との相対的な位置関係がずれることである。このような場合においても、制御則が有



Fig.3: Grasping manipulation of deformable object

するロバスト性のため、代表点を指定された目標点に案内することができる。

把持操作においては、メカニカルフィンガーと物体との接触を保つために、フィンガーが物体に加える把持力を制御する必要がある。把持力制御もまた、物体の粗いモデルをもとに導くことができる。

4. 平面運動検出ビジョンアルゴリズム

上述のように、柔軟物ハンドリングにおいては、ビジョンが重要な役割を果たす。物体ハンドリングにおいては、リアルタイムで対象物の位置、姿勢、あるいは変形を検出し、対象物を識別するビジョンシステムが要求される。現在、運動物体の位置検出法として、正規化相関法が広く用いられている。正規化相関法では、パターン画像と入力画像の相関関数を計算することにより、物体の識別と運動の検出を行う。正規化相関法は、並進運動を検出することができるが、回転運動、物体の拡大・縮小、物体の変形を検出することができない。あらかじめ、パターン画像の回転画像を計算しておき、複数枚の回転画像と入力画像との正規化相関演算を行い、位置と姿勢を求める方法が提案されているが、計算量が多くリアルタイム性に問題がある。輪郭法は、物体の重心から輪郭までの距離をもとに、回転や拡大・縮小を検出する手法である。輪郭法では、凸物体の回転運動や拡大・縮小を検出することができるが、凹物体や穴を有する物体に適用できない。

そこで、平面運動物体の位置と姿勢をビデオフレームレートで検出し、物体の種類を識別することができるビジョンシステムを開発した。開発システムによる検出結果の例を、Fig.4に示す。開発システムは、片側ラドン変換 (one-sided Radon transform) に基づく平面運動検出アルゴリズムを用いており、(1) 運動物体の識別、並進・回転運動計測がビデオフレームレートで可能、(2) 凸物体のみならず、凹物体、穴を有する物体に適用可能という特徴を有する。したがって、開発アルゴリズムは、コンベアやソータにおいて平面運動する物体の識別と運動検出に適用可能である。

5. インパルスソータ

物体の搬送は、多くの産業分野に関わる基盤技術の一つである。コンベヤやパーツフィーダなど従来の搬送機器は、高速な搬送が可能である一方、柔軟性に欠け、搬送物体の変更に素早く対処することができない。ハンドリングロボットは、柔軟性は高いが、一般に搬送スピードが十分ではない。そこで、高速な搬送が可能で、柔軟性を有する新しい搬送機器として、Fig.5に示すインパルスソータ (impulsive sorter) を開発している [3]。インパルスソータとは、衝突と空気圧浮上を利用して、物体の仕分を行う装置である。ソータの運動を制御するためには、物体の種類を識別し、物体の運動を計測する必要がある。そのためには、前節で述べ

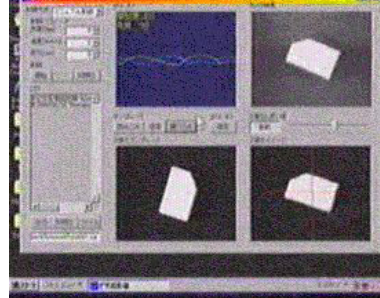


Fig.4: Detection of planar motion

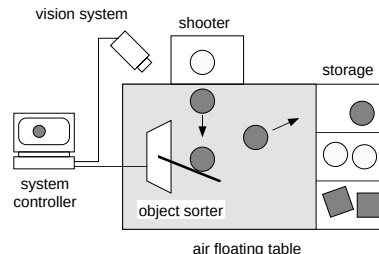


Fig.5: Overview of impulsive object sorter

た平面運動検出ビジョンシステムを適用すればよい。

インパルスソータは、(1) 物体に分布的に空気圧を作用させ、物体とテーブル間の摩擦を減らし、高速運動を実現する、(2) 単純なメカニズムを用いて、物体の運動方向を制御するという特徴を有する。インパルスソータは、硬い物体を対象としているが、これらの特徴は、柔軟物の高速搬送を実現する上で重要であると考えられる。

6. おわりに

以上に述べた研究を通して、柔軟物の特性を精密にモデリングすることが困難であるにも関わらず、制御系を巧みに構成すると、柔軟物ハンドリングが単純な制御則で実現できるという点が明らかになりつつある。従来、柔軟物をハンドリングする機械システムの開発は、センサを用いずにハンドリングを実現する機構の開発に重点があった。一方、近年の LSI 技術の進展により、センサや CPU を安価に使用できる環境が実現している。したがって、本報告で概説した制御則を実現することにより、より単純な機構と制御則でハンドリング作業を実現できる可能性が高い。最後に、常日頃からハンドリングに関する議論に参加していただいている、立命館大学高速高機能ハンドリングコンソーシアムの会員諸氏に謝意を表す。

【参考文献】

- 1) Hirai, S. and Wada, T.: Indirect Simultaneous Positioning of Deformable Objects with Multi Pinching Fingers Based on Uncertain Model, Robotica, Millennium Issue on Grasping and Manipulation, Vol. 18, No. 1, pp. 3-11, 2000
- 2) 森, 和田, 古池, 平井: 視覚センサを用いた柔軟物の操り; ロボティクス・メカトロニクス 2000 講演会予稿集 CD-ROM, 2000
- 3) Hirai, S., Niwa, M., and Kawamura, S., Development of Impulsive Object Sorting Device with Air Floating, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Vol. 4, pp. 3065-3070, Detroit, May, 1999