

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25540113

研究課題名(和文) 高速ビジョンと多指ハンド操りを利用した全情報把握

研究課題名(英文) Understanding of Geometric and Mechanical Information Based on Multi-fingered Hand Manipulation with High-speed Vision

研究代表者

妹尾 拓 (SENOO, Taku)

東京大学・情報理工学(系)研究科・助教

研究者番号：10512113

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：物体に関する幾何情報(3次元形状)と力学情報(重心・慣性モーメント・質量分布)を同時に計測するために、高速ビジョンを用いて「運動物体の多視点時系列画像データ」を利用する情報把握手法を提案した。単一ビジョンで多視点の画像を取得するために、多指ハンドで対象を能動的に操ることで、対象のシルエットを利用した視体積交差法によってボクセル空間での3次元形状復元をおこない、角運動量保存則や運動エネルギー保存則に関する力学的拘束に対象の運動をフィッティングして力学情報の同定をおこなった。

研究成果の概要(英文)：A method of simultaneously identifying geometric and mechanical information of an object was proposed using the data set of time-series multi-view image captured with high-speed vision. By actively manipulating a measurement object to get multi-view images with a single camera, the 3-D shape reconstruction was performed in voxel space on the basis of a space carving method using the object silhouette, and the inertia moment and mass distribution were also estimated in fitting the object movement to the mechanical constraint such as the conservation of angular momentum and the conservation of energy.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：ロボット工学 画像処理 多指ハンド 力学同定

1. 研究開始当初の背景

物体には大別して幾何情報(形状など)と力学情報(重心・慣性モーメントなど)の2つの重要な要素が存在し、これらの情報を容易に計測する技術が求められている。幾何情報の計測にはカメラを用いることが一般的であり、3次元形状復元などが数多く研究されている。力学情報の推定は、ロボットの手先に対象を固定して負荷同定する方法や、専用装置を用いた力計測が一般的である。画像データから力学情報を推定する研究も少数ながら実施されているが、形状を既知と仮定したりデータベースを利用するなど幾何情報を事前に与えている。特に3次元形状の復元は計算コストが膨大で長時間を要するため、両方の情報を同時にセンシングすることは現在おこなわれていない。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者のこれまでの高速性・リアルタイム性を有する画像処理とハンドによる高速操りを基盤技術とすることで、力計測を伴わずに高速ビジョンを用いて幾何情報と力学情報を同時に把握することを目的とする。これを実現するために、環境側に設置したカメラで対象の多視点の時系列画像がセンシングできるような、ハンドによる能動的な対象操りを統合する。また、幾何情報推定と力学情報推定を直列に実行するのではなく、両方の情報をその相互関係に基づき並列かつ逐次的に推定していくことで、計算時間の短縮や推定精度の向上のための手法についても検討していく。幾何情報として3次元形状、力学情報として重心・慣性テンソル・質量分布に焦点を絞って研究を進め、(1)高速ビジョンによる幾何情報・力学情報の同時センシング手法の確立と、(2)高速多指ハンドによる能動的操り手法の開発を実現し、時間分解能の高いアクチュエーションとセンシングを用いた新たな情報把握手法の創出を目指す。

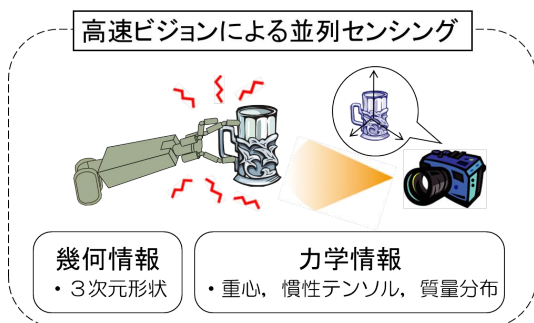


図1 研究目的

3. 研究の方法

(1) 高速ビジョンによる幾何情報・力学情報の同時センシング手法の確立

3次元形状を復元するには多視点の画像が必要である一方、運動特性を支配する力学情報の推定には時系列データが必要であるた

め、その共通項となる「運動している対象の時系列画像データ」に着目して幾何/力学情報の復元をおこなう。つまり、対象が固定した状況で多眼計測をおこなったりカメラ移動により対象を計測するのではなく、対象自体を動かすことで運動特性を含んだ多視点の画像を計測することに着目する。

具体的には、3次元形状に関して、多視点における対象のシルエットを利用した視体積交差法を用いてボクセル空間での復元をおこなう。力学情報の推定には、対象の運動を規定する角運動量保存則や運動エネルギー保存則など力学的拘束を利用し、画像の時系列情報から抽出した対象の運動を力学的拘束にフィッティングしてパラメータ同定をおこなう。特に、対象の回転軸や回転速度は幾何/力学情報のどちらを復元する上でも必要であり、同時に推定精度へ大きく影響を与えるパラメータである。このような相互関係を定式化することで、両方の情報を並列に同定していく手法や情報復元の高精度化を実現する手法を確立する。システムとして、幾何情報と力学情報の演算を高速に実行可能なビジョンシステムを構築する。

(2) 高速多指ハンドによる能動的操り手法の開発

単一ビジョンで多視点の画像を取得するためにハンドで対象を操ることを想定する一方、把持姿勢の計算に必要な3次元形状と操りの動特性に影響する重心や慣性テンソルといった力学情報のいずれも初期状態では未知である。両者の情報は時系列データから逐次的に求まることを考慮すると、初期状態から操りを開始するためには、推定段階の各ステップにおいて事前情報・既知情報・未知情報の取得状態に応じた操りシーケンスが要求される。この操りシーケンスを数理的に定式化することに着目する。

具体的には、対象のシルエットと存在領域など2次元画像からすぐに理解できるデータを有効に利用することや、対象の動特性が未知の場合にも操りが可能なセンサフィールドバック制御を適用することで、未知の初期状態から操りを開始する問題に対処していく。実機における操り動作に関しては、3次元形状復元と力学情報推定の両方に多視点画像の取得が必要であることから、高速回転運動の重要性を考慮して両指把持回転の基本動作を中心に検討する。回転軸の時間変化の観点から、操り精度と情報復元精度などを解析し、最適な手法を検討していく。システムとしては、これまでに開発してきた超高速ロボットをベースに、高速回転操りに適したハンドメカニズムの改良をおこなう。

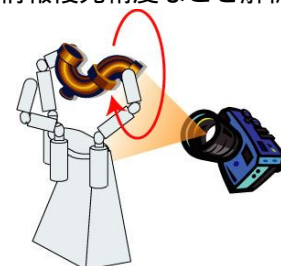


図2 両指把持回転

4. 研究成果

(1) 高速ビジョンによる幾何情報・力学情報の同時センシング手法の確立

3次元形状復元：対象時系列画像の輪郭情報のみから3次元形状を復元する手法を提案した。この手法は、ハンドを用いた2点把持による対象の固定軸回転運動を想定し、時系列データに基づく回転情報の推定とボクセル空間における視体積交差法で構成されている。シミュレーションでは、ボクセル空間において立方体・直方体・楕形ブロックの3種類の形状を回転させて3次元形状の復元をおこなった結果、復元後のボクセル数は平均誤差4%以内に抑えられることを示した。実機システムへ実装して実画像を用いた実験では、直方体と楕形ブロックの2種類の対象を回転させて3次元形状の復元をおこなったところ、復元後のボクセル数の平均誤差は18%程度となった。誤差の原因は、提案手法が対象時系列画像の輪郭情報を利用する手法であるため、輪郭の陰影に影響を受けやすいためである。実験結果より、角速度ベクトルの推定精度が3次元形状の復元精度に大きく影響することが判明した。

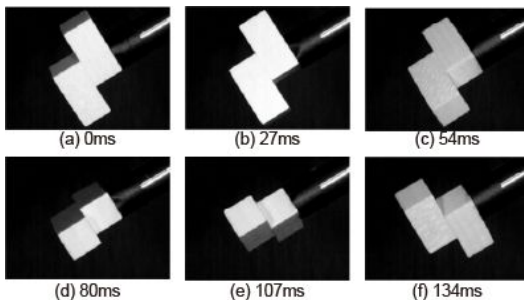


図3 高速ビジョンによる取得画像

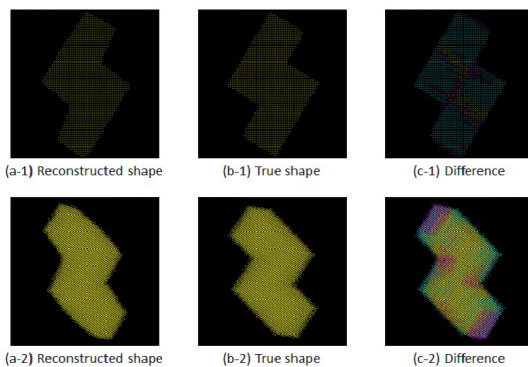


図4 ボクセル空間の3次元形状再構成

力学パラメータ同定：画像の時系列情報のみから回転軸が推定可能という条件のもと、エネルギー保存則と角運動量保存則を用いることで、慣性主軸と角運動量の計算過程を2次曲面へのフィッティングとして定式化する手法を提案した。シミュレーションでは直方体の運動を1msごとにサンプリングしたデータから同定し、慣性主軸は1%の誤差で推定できることを確認した。主慣性モーメントの二乗誤差の最小化に基づき、対象の質量分布を推定する手法を提案した。この手法は、剛体内に空洞がなく充填しているという制

約条件と、最適解の一意性および質量分布の断続変化抑制を表現する正則化項を追加することで、凸二次計画問題として定式化されている。シミュレーションでは、非一様な質量分布を持つ立方体・直方体・楕形ブロックの3種類の対象に対しておこなった結果、質量変化の大きい部分では真値からの偏差が大きくなるが、特異な値に収束することなく真の質量と同じ傾向の分布を推定することができた。

	主軸からのずれ[deg]			力学パラメータ				α の誤差絶対値	Jの2乗誤差和
	X	Y	Z	α	J_x	J_y	J_z		
実測値	0	0	0	0.2969	0.3	0.29	0.08	0.0338	0.0825484
	60	0	0	0.3856	0.61	0.48	0.16	0.0549	0.0134044
	45	0	45	0.3321	0.53	0.4	0.2	0.0014	8.441E-05
	30	30	30	0.2841	0.28	0.28	0.26	0.0466	0.0823604

表1 力学パラメータの計算誤差

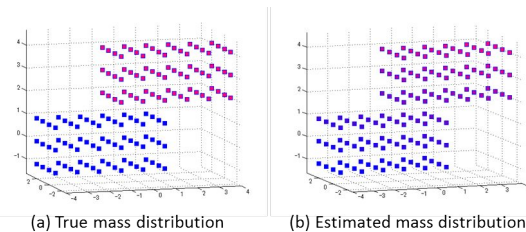
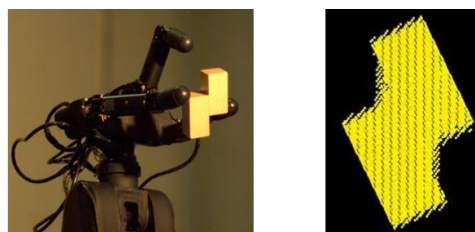


図5 質量分布の推定結果

(2) 高速多指ハンドによる能動的操り手法の開発

ハンドによる能動的操り：3本指の高速ハンドを用いて、対象に回転を与える操り軌道計画を提案した。両側の指同士で対象を把持しながら、中指で対象を弾くことで高速回転運動を実現し、両側指の把持力を調整することで回転速度を制御している。ハンドの前方に設置した高速ビジョンによって多視点の画像を取得し、3次元形状復元をおこなう。対象計測としてビジョンを用いることを考慮し、指で対象の遮蔽が生じないように把持姿勢を設定すると同時に、対象情報の取得状態に応じたセンサフィールドバックアルゴリズムを構築した。検証実験として、高速多指ハンドを用いて楕形ブロックの操りとその3次元形状再構成を実現した。ハンドによる操りの応用例として、コネクタ形状の識別に基づく複数種類のコネクタ挿入タスクと、対象の回転制御に基づいたハンドアームによる投球タスクを実現し、有効性を確認した。



(a) Hand manipulation (b) Reconstruction process

図6 多指ハンドによる回転操り

統合システムの開発：高速視覚センサと処理系を統合した高速ビジョンシステムを構築した。幾何情報や力学情報の演算結果をハンドの操りに利用可能にするために、ハンド用コントローラへのリアルタイム通信環境の整備や、センシング範囲に合わせた光学系の選定をおこない、実験環境をセットアップした。多指ハンドに関しては、対象把持における柔軟性・摩擦特性を解析し、対象の回転操りに最適な指モジュールへ改良した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

妹尾拓, 山川雄司, 石川正俊: 高速ビジョンのロボット応用, 日本ロボット学会誌, Vol.32, No.9, pp.769-773, 2014, [解説論文, 査読無], DOI: 10.7210/jrsj.32.769

〔学会発表〕(計7件)

Taku Senoo and Masatoshi Ishikawa: Planar Sliding Analysis of a Biped Robot in Centroid Acceleration Space, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2014.9.17, Chicago, USA.

Hyuno Kim, Yuji Yamakawa, Taku Senoo and Masatoshi Ishikawa: Manipulation Model of Thread-Rotor Object by a Robotic Hand for High-speed Visual Feedback Control, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2014.7.9, Besancon, France.

妹尾拓, 石川正俊: 重心加速度空間における二足ロボットの滑り状態判定, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門講演会, 2014.5.28, 富山, 富山市総合体育館.

村上健一, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: ロボットハンドアームを用いた変化球のための回転操り動作分析, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門講演会, 2014.5.28, 富山, 富山市総合体育館.

玉田智樹, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速ロボットハンドと高速ビジュアルフィードバックを用いたコネクタの高速挿入操作, 第19回ロボティクスシンポジウム, 2014.3.14, 兵庫, 有馬グランドホテル.

Tomoki Tamada, Yuji Yamakawa, Taku Senoo and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Manipulation of Cable Connector Using a High-Speed Robot Hand, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2013.12.14, Shenzhen, China.

Yuji Yamakawa, Yoshiyuki Tabata, Taku

Senoo and Masatoshi Ishikawa: 3D Shape Reconstruction of an Object based on its Silhouette using a High-speed Vision, SICE Annual Conference 2013, 2013.9.17, Aichi, Nagoya University.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

妹尾 拓 (SEN00, Taku)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号: 10512113