

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2014

課題番号：22240019

研究課題名(和文)柔軟物連続操作のための視覚認識とアクションの双方向連動に関する研究

研究課題名(英文) Research on interactive links between actions and visual recognition for handling soft objects

研究代表者

喜多 泰代(Kita, Yasuyo)

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・上級主任研究員

研究者番号：00356875

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 38,100,000円

研究成果の概要(和文)：衣類のような柔軟物も自然に取り扱えるロボット技術が望まれている。本研究では、対象衣類の柔軟モデルを媒介として、衣類へのアクションと視覚認識を密に連動させることにより、作業中、形を大きく変える柔軟物を確実に連続操作する基盤技術の研究を行った。具体的に「任意の状態に置かれた衣類を、指定する目標形状に畳む」課題を例として、衣類の状態が未知から既知となる状態を節目とし、その前段を「頑健な認識のためのアクション活用」、後段を「動作とモデル駆動型認識の繰り返し処理による状態遷移」に着目して体系的に整理した。ヒューマノイドを用いて、実際のタスクを遂行し、その有望性を示した。

研究成果の概要(英文)：It is becoming increasingly important for robots to autonomously handle daily necessities, such as clothes folding. In this project, we have studied methods for robustly handling a clothing item by densely linking handling actions and visual recognition via a deformable model of the item. As a practical task, folding an item of clothing from an arbitrary shape into a fixed form was considered. We treat "recognition of clothing state" as a turning point in the total process. While the clothing state is unknown, actions which reshape the item so as to produce more informative observations are proactively used. Once the state of the item becomes known, the desirable clothing shape is positively led and traced by iterating handling actions and deformable-model based visual recognition. Experimental results using a humanoid system showed a good prospective of the proposed strategy.

研究分野：コンピュータビジョン

 キーワード：ロボットビジョン 柔軟物ハンドリング モデル駆動型画像処理 アクション連動 ヒューマノイド
 ステレオビジョン 広視野視覚 変形モデリング

1. 研究開始当初の背景

社会の少子高齢化が進むとともに、家庭や福祉の場面におけるロボットの活躍が期待されており、衣類のような柔軟物も自然に取り扱える技術が望まれている。その多様な変形ゆえに形状特定が困難な衣類を、ロボットが自律的に両腕で取り扱うためには、起こり得る状況を想定しながら、アクションを起こして対象に働きかけることにより、認識に必要な情報を自ら能動的に獲得する能力が必要である。しかし、認識処理とアクション駆動部との緊密な連動を実現するような自律システムは実現されていない。

2. 研究の目的

作業中、形を大きく変える柔軟物を確実に連続操作できる基盤技術の確立を目指す。具体的に「任意の状態に置かれた衣類を、指定する目標形状に畳む」課題を設定し、視覚認識とアクションとの連動要素の整理、要素技術の研究開発、一連動作遂行による実証を行う。

3. 研究の方法

(1) 研究代表者らがこれまでに開発した空中での持ち替え動作の基本手法(図1)を核として、「アクション情報に基づいたよりロバストな認識」、「認識結果に基づいたより適切なアクション」を常に連動して働かせるフレームワークを構築する。

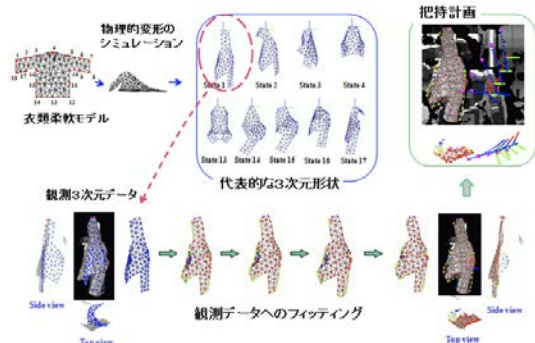


図1 衣類状態推定とアクションの自動算出

(2) 上記フレームワークを実現するための要素技術を「任意の状態に置かれた衣類を指定する目標形状に畳む」という具体的な課題を通じて整理し、必要な技術を研究し構築する。

4. 研究成果

(1) 衣類の状態が視覚認識によって未知から既知へと変わる前後において、状態認識法や必要なアクションが異なることに着目し、一連の動作を、対象衣類の状態推定が行えた時点を節目として、推定以前と推定後に分類して体系づけた(図2)。推定以前は、状態を

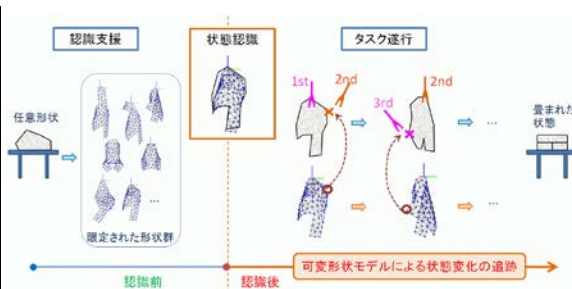


図2 状態認識を核とした枠組みの提案

より確実に認識するため、形状をできるだけ限定し、かつ、多方向から観察するような認識支援動作を行う。推定以降は、動作を行うとともに、対象がどのような形状になるかを予測、この予測形状をもとに対象形状の変化を追跡する。シンプルな枠組みに落とし込むことにより、多様な問題の見通しを良くした。

(2) ロボットの可動範囲、自己干渉といった物理的制約を線形拘束条件として表し、視覚認識モジュールが提示する理想的な把持位置・姿勢との誤差をそれらの拘束条件下で最小化するハンドの動作計画の定式化を行い、理想に極力近くかつ実現可能な動作計画の自動算出手法を開発した(図3)。これにより、視覚モジュールとアクチュエータのより密接な連携が可能となり、より複雑な自動ハンドリングが行えるようになった。



重み：(1,1,1,1,1,1) 重み：(100,100,100,1,1,1)

図3 重みによる生成される動作計画の違い

(3) (1)の推定以前パート部の要素技術として、多方向から観測した3次元データの新たな統合方法を開発した。具体的には、横軸を観測表面の測地距離(geodesic distance)とする奥行情報画像、EZバッファ画像(Extended Z buffer)を提案した。衣類表面に沿った測地距離を横軸とすることで、衣類をある点で持ちあげて空中で把持した場合に起こるしなり方の違いによらず、Zバッファ上のほぼ同じ領域に表面点群が記録される(図4)。結果として、このZバッファ上の領域を比較することで、折れ具合に寄らず、どこで把持されているかを推定することが可能となった(図5)。

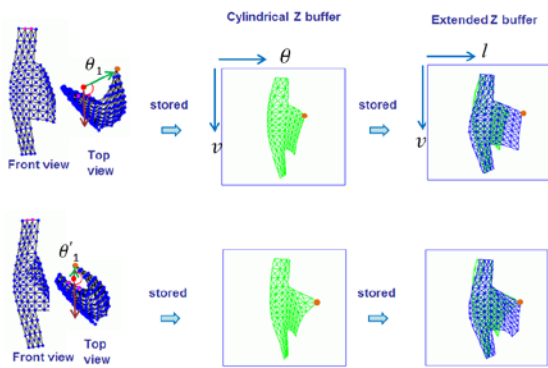


図4 EZバッファ：測地距離を横軸とする距離画像

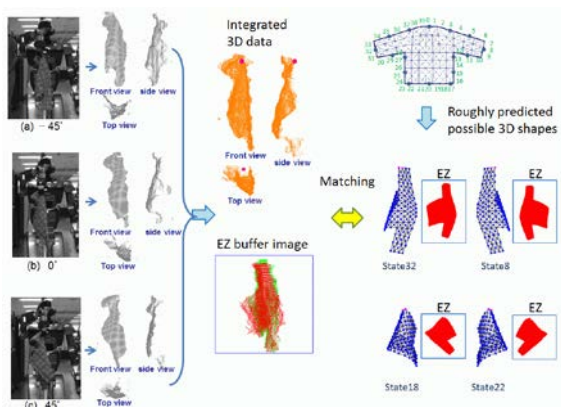


図5 把持手を回転させて得た複数距離画像統合データとモデルとのEZバッファを用いた照合

(4) 衣類状態推定後、計算機内部の対象衣類モデルはその時点での衣類の状態を表しており、次に把持すべき部位の位置や法線方向を算出できる。これに基づき、ハンドのとるべき位置・姿勢を算出してアクションを行うと同時に、そのアクションにより、次に衣類がどのような形状になるかを予測、この予測形状をもとに観測形状を処理し、モデルを最新の状態に更新する手法を開発した(図6)。トレーナの身頃を広げる課題に、この手法を適応し、既存手法より、無駄な動きを少なく抑えて目標状態を達成できることを示した。

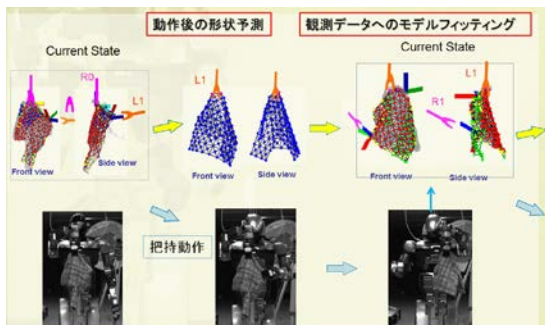


図6 予測と観測データを用いた詳細化に基づく、衣類状態推移把握

(5) 実用性を確認するための実際的な課題「畳む」を実現するための、状況に応じた把持位置選出手法を提案した(図7)。

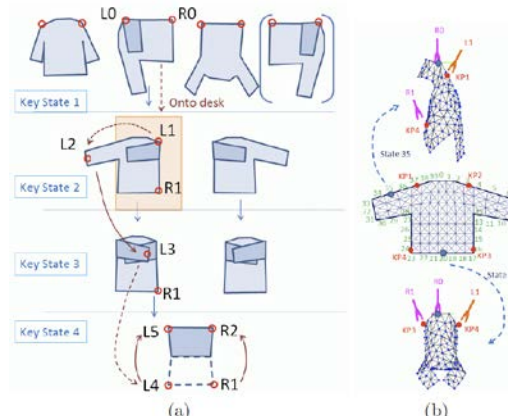


図7 (a) トレーナを畳む手順、(b) 状態推定結果に基づく把持位置の自動決定

(6) 机上での衣類の畳み動作を実現するアクション認識連動要素を開発して実装した。図8はその一例で、トレーナの裾の逆コーナを把持するために、まず、既に片手で把持しているコーナーを、裾の縁が観測カメラからよく見えるように持ち上げ、視覚モジュールは縁がどこに現れるかの予測に基づき観測3次元データから縁を検出(オレンジ線)する。その3次元情報に従い、左手を縁に沿わせてコーナーまで動かす手法で頑健なコーナー把持を実現した。

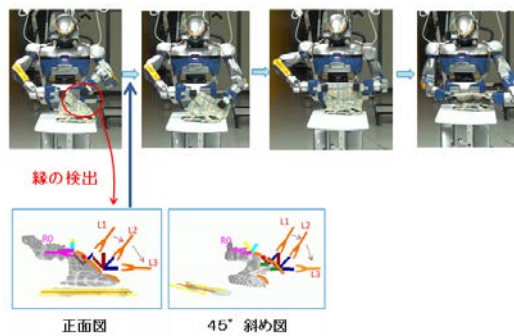


図8 観測部位の持ち上げ動作と観測情報解析によるアクション

(7) (6)までに開発した手法を統合し、一連の動作を実現するシステムを構築し、2種のトレーナの自動折り畳み課題を実現した。まだ、安定性には欠けるものの、提案した枠組みの有効性を確認した(図9)。安定性を増すには、衣類を想定する形状に確実に誘導することが重要であるが、このためには、把持を行う位置だけでなく、把持後の軌道も重要な要素である。今回提案した、対象衣類の柔軟モデルを核とする枠組みに、軌道を含めたアクション生成まで組み込むことが有望な解法の一つであり、今後の課題である。

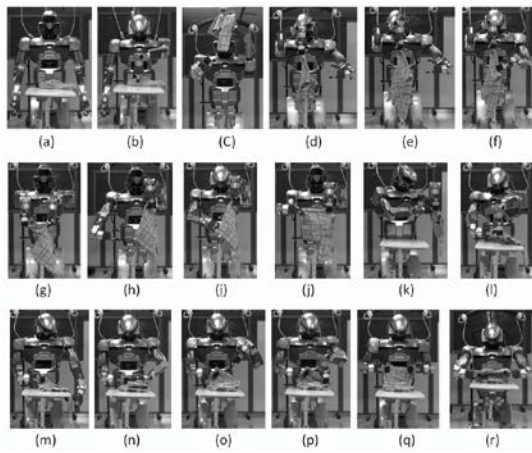


図9 トレーナの自動折り畳み成功例

(8) 現在は外部ステレオカメラを用いて観測情報を得ているが、将来的には、双腕で空中把持した衣類形状をロボットの頭部に設置した広視野ステレオにより計測することを計画している。このように近領域を観察する際に問題となる、左右カメラ投影画像間の大きな見えの違いに対処するため、探索する面パッチの方向性を考慮する手法を開発し、実験でその有効性を示した。高性能広視野レンズの利用とこの手法を組み合わせることにより、ステレオ計測手法が視野の全体において良好に機能し、その結果近接の大きな作業場が確保できることを実験により確認した。

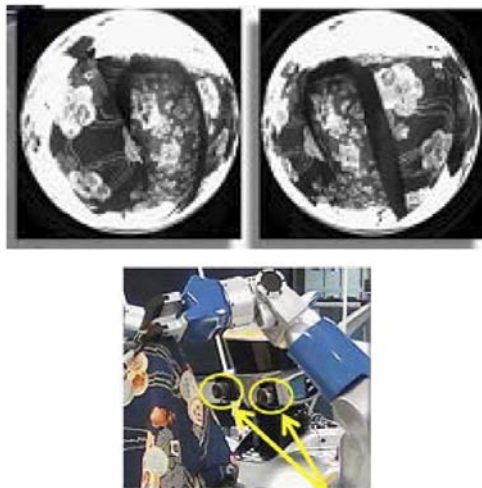


図10 広視野ステレオカメラによる手元の視覚情報

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

① N. Kita: "Evaluation of 3D Analysis Error Caused by SVP Approximation of Fisheye Lens", Int. Conf. on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), 査読有, pp. 357-368, 2015

DOI: 10.5220/0005317403570368

② Y. Kita, F. Kanehiro, T. Ueshiba and N. Kita: "Strategy for folding clothing on the basis of deformable models", Proc. of Int. Conf. on Image Analysis and Recognition (ICIAR2014), Part II, vol. 8815, 査読有, pp. 442-452, 2014.

DOI: 10.1007/978-3-319-11755-3_49

③ Y. Kita, T. Ueshiba, F. Kanehiro and N. Kita: "Recognizing clothing states using 3D data observed from multiple directions", Proc. Of IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 査読有, pp. 227-233, 2013.

DOI:10.1109/HUMANOIDS.2013.7029980

④ N. Kita, F. Kanehiro and Y. Kita: "3D Shape Measurement of a Large Cloth close to a Fisheye Stereo", Proc. of IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 査読有, pp. 895-900, 2012.

DOI: 10.1109/SII.2012.6427325

⑤ Y. Kita, F. Kanehiro, T. Ueshiba and N. Kita: "Clothes handling based on recognition by strategic observation", Proc. of IEEE-RAS Int. Conf. on Humanoid Robots, 査読有, pp. 227-233, 2011.

DOI:10.1109/Humanoids.2011.6100817

⑥ N. Kita: "Dense 3D Measurement of the Near Surroundings by Fisheye Stereo", The Twelfth IAPR Conference on Machine Vision Applications, 査読有, pp. 148-151, 2011.

URL: <http://www.mva-org.jp/Proceedings/2011CD/papers/04-28.pdf>

⑦ Y. Kita, E. S. Neo, T. Ueshiba and N. Kita: "Clothes handling using visual recognition in cooperation with actions", Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation, 査読有, pp. 2710-2715, 2010.

DOI:10.1109/IROS.2010.5651222

〔学会発表〕(計5件)

① 胡京雨, 喜多泰代: "誘導された識別用形状を用いる衣類種別判定の試み", 第17回画像の認識・理解シンポジウム予稿集, SS2-18, 2014年7月30日, 岡山.

② 喜多泰代, 金広文男, 植芝俊夫, 喜多伸之: "衣類ハンドリングのための可変形状モデルを核とした全体戦略", 第31回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1E3-01, 2013年9月4日, 東京.

③ 喜多伸之: "魚眼ステレオによる円筒状バリアセンシング", ViEW2012 ビジョン技術の実用ワークショップ, 2012年12月7日, 横浜.

④ 喜多伸之: "広視野ステレオによる衣類形状計測", ビジョン技術の実用ワークショップ, 2011年12月8日, 横浜.

⑤ 喜多泰代, 植芝俊夫, 喜多伸之, Neo Ee Sian: "アクションを活用する衣類ハンドリ

ングのための視覚認識”，第 28 回日本ロボット学会学術講演会予稿集，3I1-2，2010 年 9 月 24 日，名古屋.

(3) 連携研究者
なし

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称：：状態推定装置及び状態推定方法
発明者：喜多泰代，喜多伸之
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2013-208162
出願年月日：平成 25 年 10 月 3 日
国内外の別：国内

○取得状況 (計 1 件)

名称：衣類状態推定方法及びプログラム
発明者：喜多泰代，喜多伸之
権利者：同上
種類：特許
番号：第 4931022 号
出願年月日：平成 20 年 9 月 4 日
取得年月日：平成 24 年 2 月 24 日
国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ：

<https://staff.aist.go.jp/y.kita/Japanese/Research/Action/index-chandling2-out.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

喜多 泰代 (Yasuyo KITA)
独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・上級主任研究員
研究者番号：00356875

(2) 研究分担者

喜多 伸之 (Nobuyuki KITA)
独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員
研究者番号：90356874
植芝 俊夫 (Toshio UESHIBA)
独立行政法人産業技術総合研究所・情報技術研究部門・主任研究員
研究者番号：20356546
金広 文男 (Fumio KANEHIRO)
独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員
研究者番号：70356806
森澤 光晴 (Mitsuharu MORISAWA)
独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・研究員
研究者番号：00392671