

研究報告書

「能動センシングによる日用柔軟物の情報知識化とその応用」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 22 年 10 月～平成 26 年 3 月

研究者: 山崎 公俊

1. 研究のねらい

日常生活の営みには様々なものが関わっており、我々は日々それらを利用している。特に衣服や寝具などに代表される「布製品」は、生活を送る上で必須の存在である。もし、洗濯物を畳むなどの日常的な作業を自動化できれば、人の労力を軽減する効果が期待できる。本研究のねらいは、布製品の扱いを可能にするための知能システムを確立することで、大量の日常データを基に行動する自律ロボットの有用な行動例を示すことである。このため、柔軟物のセンシングとその知識化の方式を示し、実ロボットによる布製品の自動操作を実現する。

剛体に比べ、柔軟物に関わる物理支援作業は高度な判断能力を要することが多い。洗濯物の山からシャツを一枚取り出して畳む作業を例に取っても、シャツらしきものを探す、目的のシャツを取り出すにはどこを掴めば良いか決める、任意の状態へ畳むための手順を立てる、などにおいて、その物体が様々な形状を取りうるが故に問題が複雑になる。このような作業の自動化のためにまず必要なことは、様々な状態、様々な種類の布製品に適用できる「知識」を持つことである。本研究は、過去に蓄積したセンシング情報から種々のタスクに必要な「知識」を生成するための方法と、それを利用して有益な作業を行うロボットの実現に主眼を置いた。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究では、自律型ロボットが布製品を扱うために必要と考えられるいくつかの要素技術に着目し、提案と実証を進めてきた。そして、布製品を見つける、種類を知る、操作中の失敗を検知するなどといった、布が柔軟物であるが故に従来研究では実現が難しかった課題の解決策を示した。

上述の成果は、従来研究と異なる次のような方針に基づいて行われた。(I) 多種多様な布製品に関するセンサデータを事前に取得しておき、それらを統計処理した情報を認識等に利用する。(II) 作業目的に沿った布製品の知識化を行うために、センサデータから特徴量記述を行う方式に注力する。後者の特徴量記述においては、シワや布地など、布製品ならではの性質に着目した提案が行われ、処理速度・識別率などの点で従来手法よりも高性能な手法が提案・実証された。また、ロボティクス応用についてもいくつかの事例を示した。具体的には、生活環境下で布製品を拾い集める、両手で布製品を畳む、座位にある人にズボンをはかせる等の作業において実現可能性が示された。

(2) 詳細

本研究の主たる成果は 4 項目にまとめられる: (A)生活環境下で布製品を見つける手法の提案と実証, (B)無造作に置かれた布製品の種別手法の提案と実証, (C)無造作に置かれた布製品に対する把持位置の決定, (D)人やロボットにより操作されている布製品の状態認識手法の提案と実証.

項目(A)では, 従来手法の発展として, 布の「しわ」にのみ反応する認識器を構築する方式を改良した. 図 1 に処理例を示す. そこでは, 特定の空間周波数の組み合わせを抽出するための画像処理手法を適用し, 画素の類似性に基づく領域分割手法, 機械学習手法などと組み合わせた. 認識器の生成のため, 生活環境下であらかじめ撮影しておいた多数の画像から, 布のシワが映り込んだ部分とそれ以外の部分を切り出した局所画像データセットを利用した. なお, 提案方式は等身大の家事支援ロボットによる洗濯物片付けタスク等への応用があり, 模擬リビング環境における衣類の発見と回収を自動で行わせることに成功している.



図 1: 布製品を見つける

項目(B)では, 床やテーブル上に置かれたタオルやシャツなどの布製品について, それらが様々な形状で無造作に置かれている状態から, その種類を判別することに成功した. 布地やシワのでき方の違いを強調するための多方向・多スケール画像フィルタリング方式を提案し, その結果から弁別性の高い特徴量表現を生成する方式も提案した. 認識器の生成のため, 様々な置き方をした様々な布製品の画像データセットを利用した, 日常的に利用する 20 種類以上の布製品を対象とした実験では, 従来手法では 79%であった識別率が 99%まで向上することが確認された. 本方式については, 画像の小領域分割手法との組み合わせも提案され, 複数の布製品がまとめておかれている場合にも対応可能であることが示された.

項目(C)では, 無造作に置かれた布製品を効率よく展開するための手法として, 適切な二点の把持位置を一枚の距離画像から見つける方法を提案した. これは, 布のフチ(縁)を手掛かりとする表現方式を用いることで, 全体形状の性質を表現する方法と, 全体形状に対して適切な把持位置を記録させる方法を組み合わせている. 認識器の生成のため, 様々な置き方をした布製品の距離データを多数取得し, そこに適切な把持位置を人手によって指示した. 認識処理は, まず現在の布製品の形状と類似した形状状態を蓄積データから探索し, つぎに探索されたデータに紐づけされた把持位置情報を利用して, 入力データ中で適切な把持位置を決める流れで行われる. 小型のタオ



図 2: 把持位置を決める

ルを用いた実験では、適切な把持位置の検出率は70%を示した。図2に検出された把持位置の例を示す。上の画像は蓄積データの一つであり、入力形状と類似していると判断されたものである。下の画像は入力形状であり、色付きの点は適切な把持位置と判断された部分である。

項目(D)では、人やロボットが操作している最中の布製品について、それらの状態表現を画像と三次元距離データを入力として行う方式を提案した。オプティカルフロー情報をベースとした複数の特徴量表現を適切に組み合わせ、布製品の大まかな状態遷移をグラフ構造として記録する方式を提案・評価した。認識器の生成のため、着衣の様子を時系列で計測したカラー画像と三次元距離画像の組み合わせデータセットを用いた。提案方式により、従来の関連研究では形状推定を行うために布操作の動きを一時的に止める必要のあったものが、動き情報を直接的に利用することにより不要になった。この成果は、等身大ロボットにより着座状態にある人に着衣を行う作業へ適用され、ロボットに搭載した力覚センサ等と連携を行うことで着衣作業が実現できることも示されている。図3は着衣実験中の処理結果を示している。上の画像は着衣が順調に進んでいる場合であり、下の画像では片足がズボンに引っ掛かっている。視覚処理によりこの状態をいち早く検知することができ、着衣対象者に大きな負荷をかけることなく着衣をやり直すことができた。

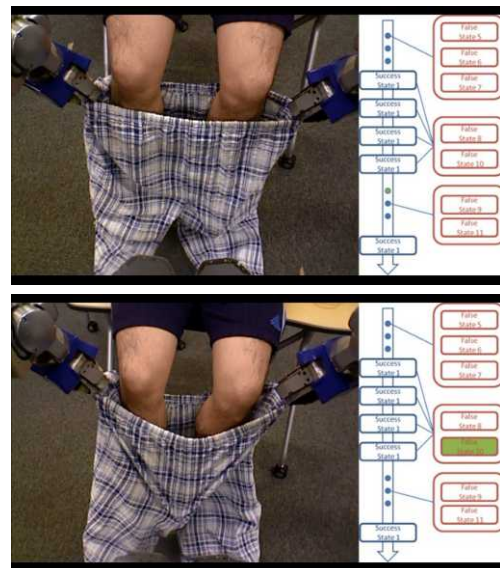


図3：操作中の状態を知る

図3は着衣実験中の処理結果を示している。上の画像は着衣が順調に進んでいる場合であり、下の画像では片足がズボンに引っ掛かっている。視覚処理によりこの状態をいち早く検知することができ、着衣対象者に大きな負荷をかけることなく着衣をやり直すことができた。

本研究の独創性・新規性は、布という柔軟物体に関して明示的な形状モデルを持たせることなく、作業目的を達成できる方式を提案・実証しているところである。従来研究では、可変形状モデルを用いたり、動的計画法(DP)によるActive Contour Modelなどの位置合わせ手法を用いたりすることで布の状態推定を行うことが多かった。また、作業環境内で布製品の発見や選択などを行う課題のように、形状モデルが利用しづらい局面では、色情報を利用するなど簡易な対応が採られてきた。しかしながら、生活環境で布製品がどのように存在しているかを考えると、形状モデルを持たせるアプローチでは対応が難しい状況が多くある。例えば、無造作に丸められた布製品の形状状態を可変形状モデルで再現することは困難である。また、一般家庭には同じ色をした衣類が多く存在するため、色情報を用いる方式が機能しない局面は多くある。

このような現状を踏まえ、本研究では従来とは異なるアプローチを採ってきた。端的に言えば次の二つにまとめられる。(I)多種多様な布製品に関するセンサデータを事前に取得しておき、それらを統計処理しておいた情報を、認識等に利用する。(II)作業目的に沿った布製品のモデル化を行うために、センサデータから特徴量記述を行う方式に注力する。これら方針に従い、布製品の発見、種類の判別、操作状況の推定などが行えることを確認した。布製品の発見では、従来研究のような色の違いを前提とする方式から脱却することに成功した。種類の判別では、無造作に丸められた布製品に対しても機能する方式を提案し、識別率99%を達成した。操作状況の推定では、布の三次元形状推定を直接的に行うことなく、比較的少ない

計算量にて布製品操作の作業状況を推定することを可能にした。加えて、これらの成果は自律型ロボットの一機能として組み込まれ、洗濯物の収集や着衣補助動作など、具体的な生活支援タスクにも適用できる可能性が示された。図 4 に、ロボットによるいくつかの布製品操作実験の様子を示す。



図 3：布製品操作実験の様子

3. 今後の展開

我々が日常生活を送るうえで布製品はきわめて身近な存在である。その中で、洗濯物の扱いなどの家事活動について、自動機械によってその一部を代替するための研究開発を推し進めていくことで、労働年齢層の減少や高齢社会等の問題への確かな対策になると考えられる。例えば、洗濯物の整理など、布製品に関連する操作は我々にとって日常的である。上述した(A)～(D)の業績により、布製品の発見・種別・操作に関する要素技術が整ってきているため、このような作業を自動機械によって代替できれば、労働年齢層の生産的活動時間を確保させられる点などにおいて社会に対する貢献は大きいと思われる。また、布製品が扱われる様々な工場環境においては、対象物の自動的な計測・操作のためにベルトコンベア形式の大型機械を必要としたり、人手による事前準備を必要としている。本業績やその発展技術を利用することでそれらを省略できる可能性があり、機械の小型化などへ寄与することが期待できる。

布製品の認識と操作に関する研究開発は発展途上の段階にあり、未解決課題の多い分野である。その要因として、布製品に関する知識の表現方法が確立されていないことがある。本研究

では、上記(I)(II)に示したように蓄積データを主体とした知識表現を用いてきており、日常的な布製品の認識・操作における具体的な課題を設定して研究を行ったが、Yシャツなどの複雑な形状の布製品を畳んだり、装飾用として複雑に織り込まれた布地などを識別するには、これまでの研究成果にはまだ改良・発展の余地が多い。しかし、蓄積データ主体の方針で研究を進めているため、必要なセンサデータの提供と、それに対する適切なセンサ情報処理手法を提案することで、これまでの枠組みを保持しつつ、対象とする布製品の種類を増やすことができると考えられる。また、布製品に関わる作業には畳む・着る・敷く・拭くなど様々なものが存在するが、これまでの研究成果である「発見」「識別」「把持位置の選択」「操作中の状態認識」はこれらのいずれにも必要な要素技術となっており、継続的に研究活動を進めていくことで、従来技術では自動化が難しかった種々の作業に新たな解決策を示すことが期待できる。

4. 評価

(1) 自己評価

本研究のねらいは、布製品の扱いを可能にするための知能システムを確立し、大量の日常データを基に行動する自律ロボットの有用な行動例を示すことであった。これに対し、過去に蓄積したセンシング情報から種々のタスクに必要な「知識」を生成するための方法を提案・実証してきた。また、それを応用した自律ロボットの実験も行ってきた。具体的な成果は上述したとおりであり、作業の自動化に必要であろういくつかの項目について、従来研究で想定してきた前提条件が提案手法では不要となることを示してきた。また、日常生活でよく見られる「無造作に置かれた状態」の布製品を対象とした認識手法については、本研究により大きな進歩がみられた。これらの点で、布製品の情報知識化については一定の成果が得られたと考えられる。一方で、研究目標の達成を効率化すべき項目については、研究期間中に十分に醸成されない部分があった。例えば、センサデータの蓄積手法について、当初はロボットによる自動的なデータ収集までを視野に入れていたが、それについては継続的な研究活動が必要な段階にある。また、シャツなどの複雑な形状の布製品を折りたたむなどの作業については未着手であり、操作知識がより高度なものとなるためには、それらを可能にするためのさらなる研究を要する。ただし、これまでの研究活動は、これらの研究課題についての新たな基礎を与えるために十分な知見と成果を創出したものであり、高い発展性を有すると思われる。今後もこれまでもの方針に則り、鋭意研究を進めていきたい。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

日用柔軟物の扱いを可能にするための知能システムを確立するという研究である。従来困難だったロボットによる柔軟物の取り扱いに挑戦している。

多種多様な布製品に関するセンサデータから特徴量記述を行い、シワや布地など、布製品ならではの性質に着目することで、処理速度や識別率などの点で従来手法よりも高性能な手法を開発している。また、ロボティクス応用についても、生活環境下で布製品を拾い集める、両手で布製品を畳む、座位にある人にズボンをはかせる等の作業において実現可能性を示した。日常生活でよく見られる「無造作に置かれた状態」の布製品を対象とした認識手法について、大きく進歩させた点を高く評価する。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

- | |
|--|
| 1. 山崎公俊, 稲葉雅幸:「布地, しわ, 布の折れ重なりに着目した画像特徴量による無造作に置かれた布製品の個体識別」, 計測自動制御学会論文集, Vol.49, No.7, 2013. |
| 2. Kimitoshi Yamazaki, Ryosuke Oya, Kotaro Nagahama and Masayuki Inaba:” A Method of State Recognition of Dressing Clothes Based on Dynamic State Matching,”, in Proc. of IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 2013. |
| 3. Kimitoshi Yamazaki and Masayuki Inaba:” Clothing Classification Using Image Features Derived from Clothing Fabrics, Wrinkles and Cloth Overlaps,” in Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Robots and Systems, 2013. |
| 4. 山崎公俊:「無造作に置かれた布製品の把持位置決定手法」, 第 19 回ロボティクスシンポジア, 2014. |
| 5. 山崎公俊, 稲葉雅幸:「無造作に置かれた布製品の画像による分類」, 第 17 回ロボティクスシンポジア, 2012. |

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 1 件

1.

発 明 者: 山崎 公俊, 稲葉 雅幸

発明の名称: 特徴量抽出方法、被写体分類方法、被写体判別方法、特徴量抽出装置、被写体分類装置、被写体判別装置、特徴量抽出・被写体分類及び被写体判別プログラム及び該プログラムを記録した記録媒体

出 願 人: 科学技術振興機構

出 願 日: 2011/12/16

出 願 番 号: 2011-275582 (PCT/JP2012/068229)

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

1. 招待講演: 山崎公俊「知能ロボットの認識・行動計画・システムインテグレーション」, 計測自動制御学会 中部支部 信州地区計測制御研究会
2. 招待講演: 山崎公俊「布製品の認識と操作に向けたセンサ情報処理」, 筑波大学 第42回 UTARC セミナー.
3. 招待講演: 山崎公俊「自律型生活支援ロボットのためのセンサ情報処理」, 日本機械学会ロボメカ部門第1地区技術委員会講演会「情報とロボティクス」
4. 招待講演: 山崎公俊「生活環境下で行動する自律型ロボットのための視覚処理と認識」, 広島大学産学官連携推進研究協力会事業 講演会「感性がつなぐロボットと人の未来」
5. 受賞: 計測自動制御学会 SI 部門若手奨励賞(受賞論文 山崎公俊, 稲葉雅幸:「布地としわに由来する画像特徴を用いた布製品の分類」)