

布製品に関わる家庭内作業自動化のための蓄積センサデータに基づく認識処理の方式

A Unified Approach for Clothing Recognition in Everyday Environment Using Accumulated Sensor Data

正山崎 公俊 (信州大)

*Kimitoshi YAMAZAKI (Shinshu Univ.), kyamazaki@shinshu-u.ac.jp

This paper describes clothing recognition approaches for autonomous robot working in everyday environment. We introduce some examples: clothing detection, classification, dressing, and grasp point selection. Solution approach at each task were based on sensor dataset instead of geometrical models, and feature descriptions suitable for clothing. Because sensor dataset involves various patterns of clothing, which are required for target task, features can be regarded as abstracted prior knowledge of the clothing. We also discuss potentials of the approach.

Key words: Clothing, modeling, recognition

1 はじめに

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の一部を自動機械によって代替することができれば、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、布製品に関する代表的な作業として洗濯・乾燥後の布製品の扱いがある。ここでは、操作対象の布製品を決める、布製品の種類を知る、把持位置を決める、展開する、畳んだ状態になるように操作を加える、といった種々の手順が必要になる。筆者はこれまでに、布製品の認識に関するいくつかの提案を行ってきており、布製品の発見 [11]、種別 [12]、把持位置の選出 [14]、操作中の状態認識 [15] などの課題に対応してきた。本稿では、これまでの研究成果を概観するとともに、布製品の認識研究の今後の展開について考察する。

2 布製品の認識操作にかかわる既存研究

上述したように、布製品を畳む作業はいくつかの手順に分けることができ、これらを全体ないし部分的に実現した従来研究が存在する。

Ono ら [6] は、四角い形状の布製品を対象とした認識手法を提案した。布製品が平板上に展開され、その一部が折れ曲がっている状態を想定して、折れ曲がりのパターンを定義することで状態認識を行った。この研究はパターンの定義を人手によって行っており、複雑に折れ曲がった布製品には対応していない。最近の研究では、より複雑な形状に対しても対応できる方法として、本研究が行っているのと同様に、蓄積した画像データを用いるアプローチが存在する [9]。Ramisa ら [7] は、無造作におかれたシャツ等の布製品を対象として、それを撮影した画像中で、襟やそで口等の特徴的な部位を発見する方式を提案した。あらかじめ撮影された衣類画像から画像特徴量を抽出し、それを抽象化した表現を用いて、入力画像中で

発見処理を行う。この方式は、布全体の形状を考えるとなく要求部位を発見できるという点で、柔軟物認識の難しさを緩和している。ただし現実的には、襟等の特定の部位が観測できる状況が常に保たれるわけではない。

複数の布製品が混在する状況を想定して、見分けや取り出しを行う研究が存在する。Kakikura ら [2] は、色情報を用いてアイソレーションタスクを実現した。ここでは、それぞれの布製品が異なる色を持つとの前提のもとで、目的の布製品を取り出す作業が行われた。また、Willimon ら [9] も、乱雑におかれた一枚の布製品に対し、吊り下げのために一つの把持点を選ぶタスクを実現している。これらの研究は布製品の一部のみを観測して操作の方針を決めており、ここでは、それぞれの布製品に一様性があり、それが画像情報として抽出できることを想定している。実際問題としてその傾向は強いいため、この想定は妥当なものであると考えられる。ただし、この認識を行った後の操作は試行錯誤的に行われることがほとんどであり、見分けや取り出しを完遂するには別の認識機能を必要とする。

布製品を所望の状態に操作しようとする研究も存在する。布は柔軟物であるため、把持位置をどこに選ぶかによって摘み上げ後の形状状態が様々に変わる。この性質に対応するため、既存研究ではまず片手で摘み上げを行い、既知の状態が現れるまで持ち替えを行うアプローチが主流である。Osawa ら [8]、Maitin-Sp Shepard ら [5] は、ロボットが布製品を操作しながらその輪郭や下端点の位置を観測することで、布製品の種類を識別することに成功している。これらの方式の利点は、ひとたび摘み上げを行えば、あとはいくつかの規定の動作をうまく選択することで、比較的高い成功率で布製品を展開できることである。一方で、所望の状態になるまで複数の動作を必要とし、時間がかかることが問題である。

Cuén-Rochín ら [1] は、平面上の布を操作するための動作選択法を提案した。ここでは、距離データと物理モデ

ルとのマッチングがなされ、その結果を用いながら折りたたまれた四角い布を広げる作業が実現された。Kitaら [3, 4] は、可変形状モデルを利用し、ステレオカメラを用いて計測した三次元点群とそのモデルをマッチングさせる手法を提案した。センサデータを入力として布製品の全体的な形状を推定しようとする方式は、そのモデル表現が確立できれば、応用性が高く有望なアプローチの一つであると言える。ただし現状で提案されている手法は計算量が多く、オンラインで適用できる段階には至っていない。

3 蓄積データを利用した布製品の認識

3.1 研究のアプローチ

2章を筆者なりにまとめる。

1. 布製品の一部分のみに着目して認識を行う方式は、作業目的がそれを許すのであれば有用である。すなわち、布製品の全体形状を考慮することは必ずしも必要ではない。
2. 生地や模様の一様性を仮定することは、多くの布製品に適用できる事柄である。すなわち、ある一つの布製品を複数の部位に分けたとしても、それぞれの部位を構成する布生地が同種のものであることは、多くの布製品に適用できる事柄である。また、布地の模様についても同様である。
3. 布製品の形状モデルを認識に用いることは、汎用性の点で有望である。しかしながら現状では、形状推定のための収束計算に多くの計算資源を要すると考えられ、オンラインアプリケーションに適用するための有効な手段がない。

上述の事柄を踏まえた筆者のこれまでのアプローチは、端的に言えば次の二つにまとめられる。

- A. 作業目的に沿った布製品の知識表現を行うために、センサデータから布製品特有の特徴量記述を行う方式に注力する。例えば、布に生じるシワは他の物品と布製品とを見分ける手がかりとなるし、タオルとシャツが異なる布地を持つことは布製品の種別に利用できる特徴である。
- B. 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。このアプローチには、布製品の形状状態の多様性に対してロバストな処理を構築できるという利点がある。

以下では、これまでの研究の概要を紹介する。

3.2 布製品の発見 [11]

布のシワにのみ反応する認識器を構築する方式として、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提案し、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



Fig. 1: Clothing detection results. Top left: input image, top right: detected clothing region. Bottom image shows an experiment that a robot sought an item of clothing from cluttered floor.

局所画像データセットを利用した。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応用され、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た。

図1は実験結果の一例である。左上の入力画像に対し、右上のように布製品の領域を抽出した結果が得られる。その下の画像は、布製品のみを選び出して拾い上げる実験の様子を示した。

3.3 布製品の種別 [12]

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、それが無造作に置かれている状態を撮影した一枚の画像から、その種別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。この手法の検証のために数十種類の布製品を撮影した画像セットが用意され、識別実験では、各布製品の知識が数百個の特徴量の集まりとして表現された。

また、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た場合にも対応可能であることが示された [13]。図1は実験結果の一例である。3種類の布製品がまとめて置かれた状況を一枚の画像として取得し、入力データとした。この画像に対して、小領域分割、各領域ごとの特徴量算出、識別処理を行った。分類した結果を右上、左下、右下のそれぞれの画像に示す。この実験では色情報を用いていないが、各小領域はほぼ適切に分類された。

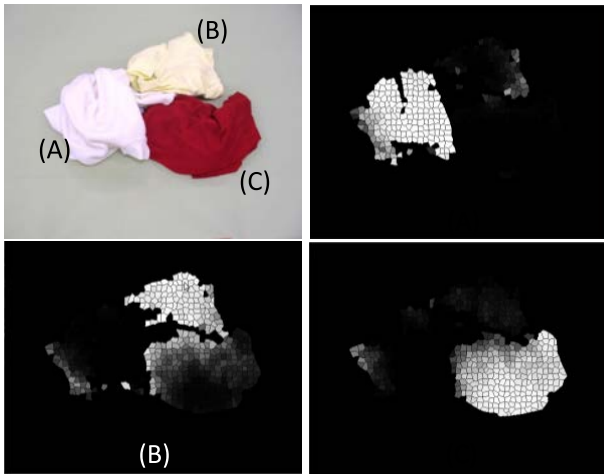


Fig. 2: Clothing classification results. An input image capturing three items of clothing was input. The image was divided into superpixels, and they were classified into appropriate clothing classes.

3.4 布製品の把持位置の選出 [14]

床やテーブル上に置かれた布製品について、それを両手で一度に摘み上げ、展開することを目標として行った研究である。既存のセンサで得られるデータには計測精度の問題があり、把持すべき場所を直接特徴化することが難しい。そこで、三次元距離画像から得たフチ要素を局所特徴とし、その並びから布製品の形状を記述する方式と、類似した無造作形状を学習データから探索する方式を提案した。ここで用いた学習データは、数百パターンの無造作な置き方をそれぞれ三次元距離画像として撮影し、そこからフチ要素を求めたのち、人手で二点の把持位置を教示したものである。

図3に実験結果の例を示した。右上の画像は縁情報を抽出した結果であり、二段目以降は把持位置の抽出例である。左列の画像はセンシング時の布製品の形状状態を示しており、そこに描画された色つきの点が把持候補点である。右列の画像は、左側の形状状態に似ていると判断された学習データに対応する、布製品の形状状態を示している。このような実験をタオルやYシャツなどの布製品について行い、実際に把持位置を選出できることを確認した。

3.5 操作中の布製品の状態認識 [15]

人やロボットが操作している最中の布製品について、こ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

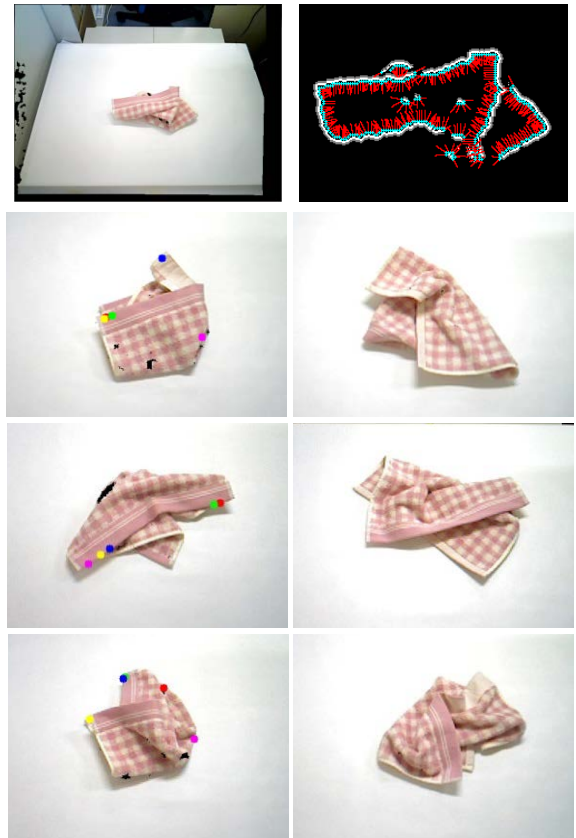


Fig. 3: Grasp point selection results. Colored points shows candidates of grasping. Each candidate is represented by 3D coordinates that is suitable for grasp planning.

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4に、着衣中のズボンの状態認識の様子を示した。ここでは双腕のロボットがズボンの両端を把持し、装着者の足にズボンを通す動作を行っている。各画像の右部分は、青枠が成功状態の列、赤枠が失敗状態を表している。(4)において引っ掛かりが検知されたため、やり直し動作が行われ、最終的にズボンの装着を行うことができた。

4 蓄積データを利用する布製品認識手法の今後の展開

ロボティクス分野における物体操作研究では、多くの場合で剛体が対象とされてきた。その際、幾何形状や重量・重心情報等は比較的容易に定義できるため、形状モデルを用いるアプローチは有用である。一方で、布製品は柔軟物である。剛体と異なり計算機上で形状モデルを定義することが難しいことから、有用な代替策が存在するならば、それを用いることが望ましい。

三次元形状モデルを用いて布の状態表現を行うアプローチは、モデルの表現力が高く、それ単体で多種のタスクに対応可能であることは筆者も同意するところである。ただし、現状ではいくつかの課題がある。コンピュータグラフィクスなどの別の分野で行われているように、計算

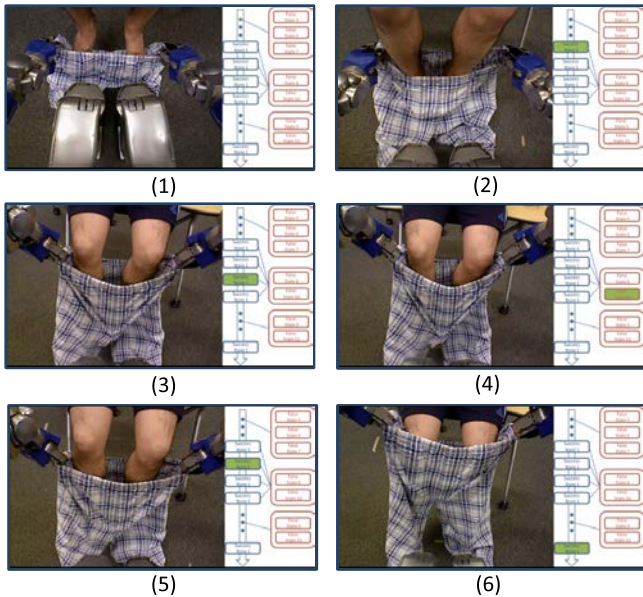


Fig. 4: Dynamic state recognition results. A person was worn a pair of pants by a dual arm robot. Blue rectangles show success, and red rectangles show failure. Rectangles filled by green color show a present state.

機上で布製品を再現することは、布の繊維レベルから始めて生地をシミュレートする方式が、現実的な処理速度で実現できている。そのような順方向のアプローチに対して、知能ロボティクスで必要とされる方式は、あらかじめ定義された形状モデルをセンサデータに対応させる、いわば逆方向の課題である。そこでの繰り返し計算と当てはまりの評価を高速化しないかぎり、実応用は難しいと思われる。なお、ある程度の処理速度向上はモデルの構成要素の粒度を下げることで対応できるが、複雑な形状を表現できなくなるといった新たな問題が生じる。

布を操作するとき、その全体形状を把握する必要が本当にあるかどうかはタスクによる。ほとんどのケースにおいては一部のみ把握できれば作業目的には十分であることが多い。よって、タスクを絞り込むことができれば、筆者らが採用しているアプローチは現実的である。なぜなら、タスクに必要な知識として布製品のセンサデータを保持し、抽象化しておくことで、認識処理における計算負荷を少なくできるためである。認識処理では、布製品の全体像をすべて把握するのではなく、必要な部分から必要な特徴を見つけることができればよい。これはある種「割り切った」対応方法であるが、布製品のように複雑な対象を相手にする場合には有用な方針であると考えている。ただし、課題はまだ多い。例えば、蓄積データを得る手間がある。データ取得の自動化や、少数データから高精度の認識結果を得るための手法が必要になる。

5 おわりに

本稿では、布製品の認識手法について、これまでの研究を概観するとともに、これまでに筆者が提案した手法を紹介し、今後の展望について述べた。

謝辞 本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業さきがけの一環として行われたものである。

参考文献

- [1] S. Cuén-Rochín, J. Andrade-Cetto and C. Torras: "Action Selection for Robotic Manipulation of Deformable Planar Objects," in Proc. of Frontier Science Conference Series for Young Researchers: Experimental Cognitive Robotics, pp. 1 – 6, 2008.
- [2] K. Hamajima and M. Kakikura: "Planning Strategy for Unfolding Task of Clothes – Isolation of clothes from washed mass –," in Proc. of Int'l. Conf. on Robots and Systems, pp. 1237 – 1242, 2000.
- [3] Y. Kita, F. Saito and N. Kita: "A deformable model driven method for handling clothes," Proc. of Int. Conf. on Pattern Recognition, Vol.4, pp. 3889 – 3895, 2004.
- [4] Y. Kita, F. Kanehiro, T. Ueshiba, N. Kita: "Clothes handling based on recognition by strategic observation," in Proc. of Int'l Conf. on Humanoid Robots, pp.53 - 58, 2011.
- [5] J. Maitin-Sp Shepard et al.: "Cloth Grasp Point Detection based on Multiple-View Geometric Cues with Application to Robotic Towel Folding," Int'l. Conf. on Robotics and Automation, pp.2308 – 2315, 2010.
- [6] E. Ono, H. Okabe, H. Ichijo and N. Aisaka: "Robot Hand with Sensor for Cloth Handling," In Proc. 1990, Japan, U.S.A. Symp. on Flexible Automation, pp. 1363–1366, 1990.
- [7] A. Ramisa, G. Alenya, F. Moreno-Noguer and C. Torras: "Using Depth and Appearance Features for Informed Robot Grasping of Highly Wrinkled Clothes," in Proc. of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation, pp. 1703 – 1708, 2012.
- [8] F. Osawa, H. Seki, and Y. Kamiya: "Unfolding of Massive Laundry and Classification Types by Dual Manipulator," Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.11 No.5, pp. 457 – 463 , 2007.
- [9] B. Willimon, S. Birchfield, I. Walker: "Model for Unfolding Laundry using Interactive Perception," in Proc. of IEEE Int'l Conf. on Intelligent Robots and Systems pp. 4871 - 4876, 2011.
- [10] B. Willimon, I. Walker, and S. Birchfield: "A New Approach to Clothing Classification using Mid-Level Layers," in Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation, 2013.
- [11] K. Yamazaki and M. Inaba: "A Cloth Detection Method Based on Wrinkle Features for Daily Assistive Robots," in Proc. of the IAPR Conf. on Machine Vision Applications , pp . 366 - 369, 2009 .
- [12] 山崎, 稲葉: 「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 .
- [13] 山崎, 花井, 稲葉: 「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ウム予稿集, pp. 469 – 475, 2012 .
- [14] 山崎: 「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ウム予稿集, pp. 183 – 188, 2014.
- [15] K. Yamazaki, R. Oya, K. Nagahama and M. 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.