

単腕マニピュレータによる折り畳まれた布製品の適切な掴み上げ

Picking up a Folded Cloth by an Articulated Manipulator

守屋 佑亮 (信州大) ○田中 大輔 (信州大)
正 山崎 公俊 (信州大) 竹下 佳佑 (トヨタ自動車株)

Yusuke MORIYA, Shinshu University,
Daisuke TANAKA, Shinshu University,
Kimitoshi YAMAZAKI, Shinshu University, kyamazaki@shinshu-u.ac.jp
Keisuke TAKESHITA, Toyota Motor Corp.

This paper describes a robotic application to picking up a folded cloth by an articulated manipulator. It is assumed that an item of cloth is placed on a table, and our task is to pick up the cloth without being unfolding. We give a fundamental grasping point on a cloth item in advance. Meanwhile, the manipulator robot must estimate the pose of the cloth item, determine a grasping point, and plan grasping pose. We proposed methods of graspable hem detection, and grasping pose detection. Experimental results show the effectiveness of the proposed methods.

Key Words: Cloth manipulation, picking up a folded cloth

1. はじめに

生活環境で物品の取り置き作業をおこなう自動機械には、対象物品を適切につかむ能力がもとめられる。それを実現する伝統的な方法の一つは、操作対象物品のモデルに基づいて物体認識をおこない、その結果を入力として、計画器により自動機械の動作列を生成するというものである。操作対象物のモデルは、形状等として手動もしくは半自動で定義することが多い。また、動作計画においては、操作対象物や周囲の事物を仮想的に再現したシミュレーション環境を用意し、そこでの干渉回避等を考慮して動作を決めることが多い。

上述の方針は、基本的に操作対象物が剛体であることを想定しており、布製品のような柔軟物を対象とした場合では適用が難しい。しかしながら、我々が日常生活を送るうえでは布製品のような柔軟物も身近な存在であり、それらに係わる自動化の要望が多いことも事実である。

本研究の目的は、腕付きロボットに布製品の掴み上げをおこなわせることである。畳まれた状態の布製品がテーブル上に置かれているとし、それを落とさずに持ち上げることを目標とする。このための方式を確立することで、おもに生活支援分野において、自律型ロボットの導入による生活の質の向上が期待できる

布製品の自動操作に関する多くの従来研究では、吊り下げ状態へ移行させる前段動作があり、その後に適切な把持位置を決定する手法が提案されている。布の角部分が把持箇所の候補となることが多く[1][2]、布製品の形状をいったん崩すことを前提としている。これに対し本研究で想定する課題は、図1左のように畳まれた布製品があり、その形状状態を崩さないように図1右のように掴みあげることである。このとき、適切な持ち上げ方を開発者が詳細に指示しなくてもよいように、様々な把持方法をロボットに試行させる中から、適切な把持に必要な動作を選択する方針をとる。事前の検討[3]では、置

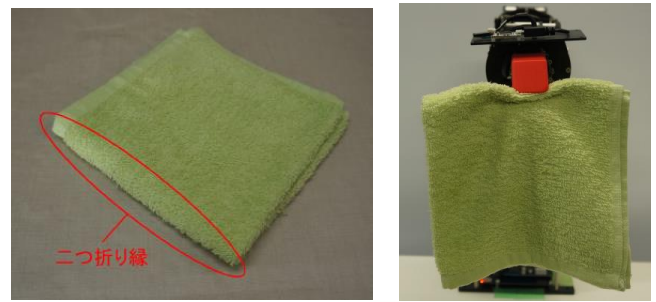


図1. 畳まれた布製品の掴み上げ

かれている布製品から把持位置を決めるための方法と、持ち上げ中に把持成功の可否を判断する手法について述べた。本稿では、適切な把持姿勢を探索する手順の効率化と、布製品の把持位置を決める方法の拡張について述べる。

2. 把持位置の決定方法

2.1. 把持位置決定のアプローチ

四つ折りにされた布製品がテーブル上に置かれているとする。三次元距離画像センサと二指ハンド付き多関節アームからなるロボットを利用して、その布製品を一つのハンドで掴み、持ち上げる作業をおこなう。

折りを保持した掴み上げのために、図1左の赤枠に示すような最も厚い二つ折りの部分を見つけ、その中心付近を把持位置とする。この位置に対してハンドを接触させて挟み込み、持ち上げ、その際に折り目を保持したままの状態が保たれていれば成功とする。一方で、折りが解消され、だらりと垂れ下がるようなことがあれば失敗とする。また、掴み方が適切でないためにそもそも把持できなかった場合も失敗とする。

本研究では、開発者への負担が少ない把持方法獲得の方式を目指している。そこで、把持経験データから適切な把持方法を選択するアプローチをとる。把持経験データの取得手順は次のとおりである。まず、折りたたまれた布製品をテーブル上

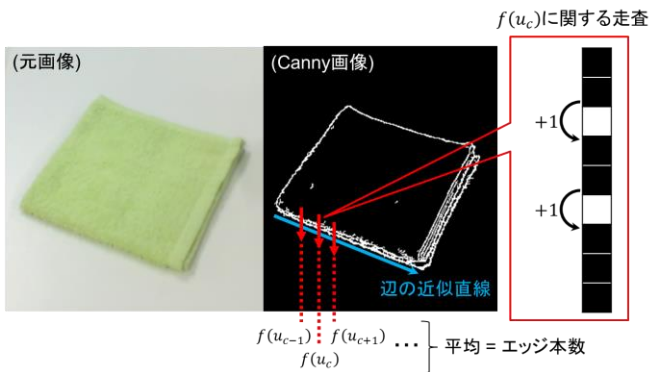


図2. エッジ本数の算出手法

に置き、その状況をカラー画像と深度画像として記録しておく。次に、人手による指示もしくはロボットが自動で選択した把持位置に対して、把持動作をおこなう。このとき、把持位置の三次元座標を記録しておく。また、その後の持ち上げ動作が成功したか否かも記録しておく。以後、これらを経験データと呼び、特に掴み上げが成功したときのデータを成功経験データと呼ぶ。

2.2. 把持すべき二つ折り部の検出

前節で述べたように、適切な把持をおこなうため、最も厚い二つ折り部分を見つける必要がある。このための方法を以下に説明する。

テーブル上に置かれた布製品を撮影し、手前側の縁が視認できているカラー画像を取得できたとする。ここで、最も厚い二つ折り部分とそれ以外の布が折れ重なった部分を比べると、布と布の間隙があるかないかによって明確な違いが現れる。そこで、得られたカラー画像からエッジを検出し、その本数の違いにより、把持すべき二つ折り部を検出する。手順は次のとおりである。まず、得られたカラー画像に対して、Canny法によりエッジ検出をおこなう。次に、最も外側のエッジから布製品の輪郭を抽出し、それを直線近似することで、判別したい部分の辺における直線方程式を取得する。このとき、直線上の任意の画素を (u_c, v_c) とする。 u_c を固定し、 v_c 方向に所定の幅での走査をおこない、エッジをまたいだ回数 $f(u_c)$ を算出する。これを直線上の全ての u_c についてもとめ、その平均をエッジの本数と定義する。この処理を視覚的に表したものを図2に示す。実際の判別では、どのような布製品の置き方のときに、上記の方法で何本のエッジが見えるかを事前に把握しておく。そして、現在の状況におけるエッジ本数がどの状況に当てはまるかをみることでおこなう。

2.3. 把持位置の決定

本節で述べる方式は、文献[3]で報告した通りである。まず、掴み上げをおこなう前に取得した深度画像から三次元点群を生成し、平面検出によりテーブル天板よりも手前にある三次元点のみを抽出する。それらを天板と平行な二次元平面に射影し、布製品に所属すると考えられる点群の投影像を得る。一方で、成功経験データのうち一つを選び、その深度画像から同

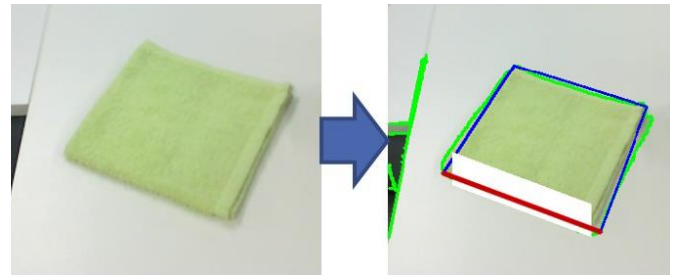


図3. 把持すべき二つ折り縁の検出

様の投影像を作成し、二つの投影像の間で位置合わせ処理をおこなう。位置合わせには、テーブル天板上に設定した位置と方位 (x, y, θ) を姿勢変数として、パーティクルフィルタを用いた位置合わせをおこなう。位置合わせの度合いが十分と判断できたら、成功経験データに記録されていた把持位置を現在のデータ上に投影する。以上の手順により、把持位置を得ることができる。

3. 把持姿勢の決定方法

3.1. 把持姿勢決定のアプローチ

布製品を掴み上げる行為において、掴む瞬間の手先の姿勢は、掴み上げ成功の可否を大きく左右する。さらに、手先の把持位置への近づけ方についても同様である。すなわち、適切な把持方法を得るためには、把持に至るまでの手先の姿勢変移を獲得することが必要になるが、この問題をそのまま解くには、多数の姿勢自由度を時系列で扱う必要があるため、計算コストが高くなる。そこで本研究では、注目すべき手先の姿勢変数を少数に限定し、その中から実験的に適切な掴み方を選択する方針をとる。

3.2. 把持姿勢の選択

まず、二つの手先姿勢に着目する、一つは、把持をおこなう時点での手先姿勢であり、今後これを把持姿勢と呼ぶ。もう一つは、把持姿勢に至る前の、把持姿勢から数センチ離れている手先姿勢であり、今後これを経由姿勢と呼ぶ。それぞれの手先姿勢の表現は6個の変数 $(x, y, z, \phi, \theta, \psi)$ を持つため、適切な把持姿勢を決めるには合計12個の変数の組み合わせを考える必要がある。ただし、このような高次元空間での探索は多大な処理時間を要する。

そこで、次のように方針で把持姿勢の選択をおこなう。まず、把持位置は二つ折り縁の中央部分と設定していることから、対象とする姿勢変数を、経由姿勢の $(x_v, y_v, z_v, \phi_v, \theta_v, \psi_v)$ 、把持姿勢の $(\phi_g, \theta_g, \psi_g)$ の9個に限定する。次に、それらを適切な範囲内でランダムに変化させて布製品の把持をおこなう。このとき、成功したときの変数の組み合わせと、失敗したときの変数の組み合わせの両方を記録する。その結果を分析し、姿勢変数空間で成功が集中している領域を見出して、そこから重要度が高い姿勢変数を特定する。そして、その姿勢変数について適切な値を選択することで、把持姿勢を決める。

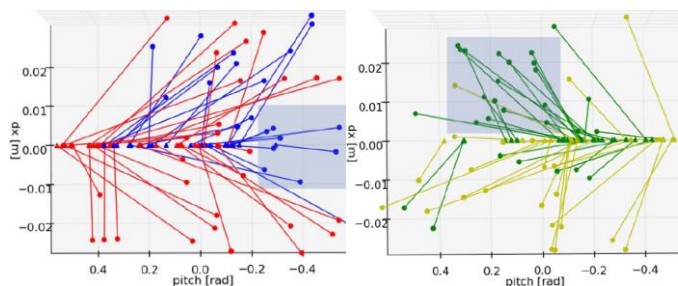


図 4. 把持経験に基づく姿勢変数の絞り込み

4. 実機実験

図 2 に示すように、矩形のタオルを 4 つ折りにし、テーブルの上に置いた。6 軸のアーム（アールティ社製、NEKONOTE）をそのテーブルに設置し、タオルとアームを俯瞰できる視点に三次元距離画像センサ（ASUS 社製、Xtion PRO LIVE）を設置した。センサからは 640×480 [pixel] の大きさのカラー画像と深度画像を取得した。

2.2 節で述べた二つ折り縁の検出結果の例を図 3 に示す。緑線が布製品の輪郭、青線が直線近似の結果であり、白の領域が判別したい部分の辺である。判別したい部分の辺が最も厚い二つ折り部分であれば、赤線を引くものとした。この結果から、二つ折り部分の認識ができていることがわかる。2.2 節で述べた手法では、エッジの本数が平均して 2~3 本であれば二つ折り部分であるということがわかり、ほぼ誤認識することは無かった。

3.2 節で述べた作業の結果、9 個の姿勢変数のうち 4 変数に着目すればよいことが明らかになった。図 4 は、この考察に利用した実験結果の一部である。各グラフの横軸は手首のピッチ角 (ϕ)、縦軸はロボット前方へ向かう座標 (x) である。一本の線分はひとつの把持行動（経由姿勢→把持姿勢）における上記姿勢変数の変化を記したものであり、青線ないし緑線は把持が成功した場合、赤線ないし黄色線は把持が失敗した場合である。ここでは 100 回の経験データをプロットした。薄青の四角で囲んだ部分には、把持が成功したときの経由姿勢の姿勢変数が集中している。よって、この範囲から把持姿勢を選ぶことで、高い成功率で把持を行える可能性がある。そこで、成功が集中している領域のデータを抽出し、その中心に位置する 4 姿勢変数を求めることで、適切な手先姿勢を得ることとした。

以上の実験結果を利用して、布製品の把持実験をおこなった。四つ折りにした矩形の布製品をテーブル上にランダムに置いて、布製品の姿勢認識・把持点検出をおこなったのちに、その把持点に対する経由姿勢・把持姿勢を生成し、それらを実行した。50 回試行したうち、成功は 46 回、失敗は 4 回であり、成功率は 92%となった。失敗の原因は、いずれも逆運動学が解けないためであった。

5. まとめ

本稿では、自律型のロボットにより布製品を適切に掴みあげるための把持方法獲得手法について述べた。単腕のロボットを用いて提案手法の効果を検証した。今後は、より複雑な状況下への対応を進める。

参考文献

- [1] Cuen-Rochin, et al.: "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] A. Doumanoglou, A. Kargakos, T-K. Kim, S. Malassiotis: "Autonomous Active Recognition and Unfolding of Clothes using Random Decision Forests and Probabilistic Planning," in Proc. of IEEE ICRA, 2014.
- [3] 守屋, 山崎, 竹下: 「把持経験の蓄積に基づく布製品の掴み上げ能力の獲得」, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会, 講演番号 3F1-02, 2016.
- [4] Ruben Martinez-Cantin, BayesOpt: "A Bayesian Optimization Library for Nonlinear Optimization, Experimental Design and Bandits," Journal of Machine Learning Research, 15, pp. 3735--3739, 2014.