

双腕ロボットによる身体形状を用いた布製品の折り畳み

○莫亜強 田中大輔 Solvi ARNOLD (信州大学)

松原崇充 (奈良先端科学技術大学院大学) 山崎公俊 (信州大学)

1. はじめに

人々が普段の生活を送るうえで、布製品はきわめて身近な存在である。それゆえに、布製品に関わる作業を高頻度でおこなう必要があり、人々はその非生産的な作業を日々繰り返しているのが現状である。その作業の一つに、布製品を畳む作業がある。洗濯が終了した布製品を所定の形状へ折り畳み、タンスなどへ収納する。これは非生産的な作業の代表例であり、自動化の要望も多い。

布製品の畳み作業は、知能ロボットの分野において従来から検討されてきた課題である。そして、多くの研究では、テーブル等の安定した水平板の上に衣類を置き、布製品の一部を把持・移動することを繰り返して畳み作業をおこなう[1][2]。ロボットアームで布製品を空中に持ち上げる工程も入りうるが、その目的は、次の手順での畳みやすさを考慮したものであり、いわゆる「展開」にとどまっている。すなわち、最終的には平板上で畳み作業を完了することが想定されている。しかしながら、ロボットの可動範囲や衣類の大きさなどによっては、平板上で布製品を畳むことが必ずしも効率的とは言えない。そこで筆者らは、人間が普段おこなう折り畳みの方法として、展開した布製品を胸に押し当て、その上で畳んでいく手順に着目した。これにより、畳むための台が不要になるなどの利点がある。

本研究の目的は、双腕ロボットを用いて布製品の畳み作業を実現することである。本稿ではTシャツやポロシャツなどを対象として、次のような特徴を持つ畳み作業獲得の仕組みを提案し、実験によって検証する。

- 身体形状の利用：展開した布製品を胸部分にあて、二つの手先で布を操作して畳み作業を遂行する。また、腕の上に畳みかけの布製品をかけることで、二つ折りを実現する。
- 畳み作業の獲得：折り畳みの大まかな工程を事前に与えておく。その後、人が布製品を畳んでいる様子を観察させ、その結果を利用して、畳み作業におけるロボット自身の動きを自動で獲得させる。

2. 問題設定とアプローチ

2.1 問題設定

操作対象の T シャツもしくはポロシャツがあり、その両肩の部分それぞれを持ち、展開している状態を初期状態とする。シャツにはカラーマーカを貼付する。貼付位置の選び方としては、折り畳みの手順

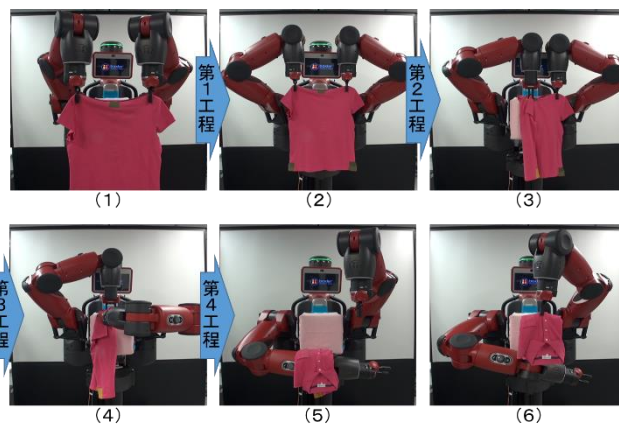


図1. 折り畳みの流れ

が進むと見えなくなったり新たに見えたりする位置や、操作するときには掴む位置とする。操作者（人もしくはロボット）に正対する位置に三次元距離画像センサを設置し、シャツの操作をおこなうのと並行してカラー画像と深度画像を取得する。

2.2 シャツの形状変化情報の抽出

前節の条件で、まず、人がシャツを畳む。そのときに三次元距離画像センサから得た時系列センサデータから、各マーカの視認可否と、視認できる場合はその三次元位置を算出する。これは、カラー画像を用いたマーカ検出と、検出された部分の深度情報を参照することで実現できる。

2.3 作業工程の分割

人が服を畳んでいる最中に見えているマーカの数と位置より、作業の大まかな流れを図1のように四つの工程にわけて考えることとした。

1. ロボットが二本の腕でシャツを持ち上げている状態から、そのシャツを胸に押し当てるまでの動作
2. 一方の袖を折り畳む動作
3. もう一方の折り畳む動作
4. シャツを腕にかけて半分に折る動作

最初の三つの工程では、シャツの形状変化はロボットの動きと比較的よく連動している。すなわち、シャツの腰部分など、把持位置から離れた部分でも、手先の動きに対応して動く部分がある。これは、テーブル上に無造作に置かれた布製品を操作する場合と比べ、布製品の形状変化の予測が比較的容易であることを意味する。そこで、人が操作した場合とロボットが操作した場合でマーカの位置変化が同じになることを評価基準として、強化学習によってロボットの動作を獲得する。一

方で、四番目の工程における動作は腕の一部を使っているため、人の姿勢を参照する必要がある。すなわち、手先軌道のみならず腕の姿勢を一定に保つような関節角度列を求める必要が出てくる。

3. 折り畳み動作の獲得

折り畳みにおけるロボットの適切な手先軌道を得るために、多自由度ロボットで有用な動作計画手法である Rapidly-exploring Random Tree (RRT) と、強化学習の一手法である Q 学習を組み合わせる。

強化学習は、様々な操作経験を積み上げながら最適な方策を探索する手法である。しかし、双腕ロボットの動きを学習させる場合は、状態空間の次元が高いために、Q 学習では方策を獲得するまでにはかなりの時間がかかると予想される。一方で、布は柔軟物であるため、所望の操作を実現するための手先軌道には比較的広い選択肢がある。そこで本研究では、状態間の空間的距離を大きく設定し、その間の遷移については RRT を利用して決めることとした。これにより、試行の回数を少なくする。

Q 学習の更新式は以下のとおりである。

$$Q(S_t, A_t) \leftarrow Q(S_t, A_t) +$$

$$\alpha [R_{t+1} + \gamma \max_{a' \in A(S')} Q(S_{t+1}, a') - Q(S_t, A_t)]$$

ここで、 $Q(S_t, A_t)$ は行動価値関数であり、これを更新することで最適の行動を得る。

右側の袖の折る動作を例として、手先軌道獲得の流れについて説明する。ロボットの胸部前方の空間を離散化し、有限の状態空間を作成する。隣接する状態は 1 つの行動で接続し、あらゆる行動を有限の行動空間に収納する。毎回の動作を生成する時は、行動空間内で 1 つの行動を選択する。収束性を高めるため、毎回行動を取る時に一定のコストを設定する。軌道を探索する時はロボットの右手先座標を常に観測し、それが設定した範囲外に移動したときは非常に低い報酬を与え、初期状態に戻る。

ロボットの手先座標が操作平面上で動いている最中、ロボットの正面に設置したカメラによって画像を撮影し、事前に人が服を折り畳んだ時に収集したマーカの動きと比較することで、シャツが正確な状態か正確でない状態かに分ける。正確な状態になった時は高い報酬を与え、良い軌道だと判断する。正確でない状態になった時は比較的低い報酬を与える。その判断が終わった後は初期状態に戻り、データを記録し、次の学習エピソードを準備する。

4. 実験

3 章で述べた方法により、200 回の手先軌道の学習を行った。実験の様子を図 2 に示す。200 回の試行の中で、適切な操作軌道が 114 回、不適切な軌道が 29 回、動作範囲の外へ出た軌道が 57 回、それぞれ観測された。初期段階では学習経験が少ないため、範囲外



初期状態



折り畳み成功

図 2. 折り畳み動作の獲得

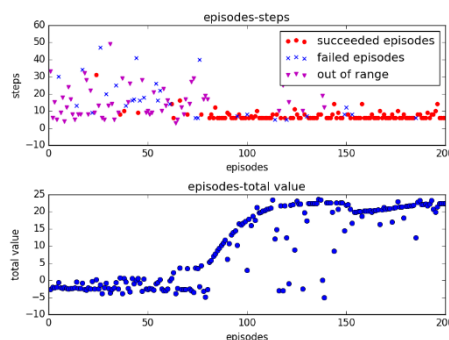


図 3. 学習の結果

に移動する軌道がたびたび見られたが、図 3 に示すように、110 回目以降は軌道がほぼ収束し、学習が成功したことがわかる。

5. まとめ

本稿では、双腕ロボットを用いた布製品の折り畳みについて述べた。展開した布を胸部に押し当てて畳む手順に着目し、その操作を獲得する方法を提案・実証した。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 26700024 と NEDO 次世代ロボット中核技術の補助を受けておこなわれたものである。

参考文献

- [1] J. Maitin-Spheard et al.: “Cloth Grasp Point Detection based on Multiple-View Geometric Cues with Application to Robotic Towel Folding,” ICRA, pp.2308 – 2315, 2010.
- [2] Y. Li, Y. Yue, D. Xu, E. Grinspun, P. K. Allen: “Folding Deformable Objects using Predictive Simulation and Trajectory Optimization,” IEEE/RSJ IROS, 2015.