

布の変形と伸縮性を考慮した Tシャツのハンガーかけ作業の実現

○小石原洋介（信州大学）、山崎公俊（信州大学）、松原崇充（奈良先端大）

Putting a T-Shirt on a Hanger Based on Cloth State Estimation Considering Deformability and Stretching Properties

○Yosuke koishihara (Shinshu University), Kimitoshi Yamazaki (Shinshu University),
and Takamitsu Matsubara (Nara Institute of Science and Technology)

Abstract : This paper describes a cloth manipulation by a dual-armed robot. Our task is to put a T-shirt on a hanger, which needs to consider both cloth deformability and stretching properties. We propose two methods for recognition: inserting state estimation of hanger into the neck of a T-shirt, and wrinkle state description while a hanger pulls the T-shirt. Through experiments using a dual-armed robot, we confirmed the applicability of the proposed methods.

1. 緒言

衣類は人間の社会生活を支えている大切な道具である。したがって、日常生活においても衣類にかかわる多くの作業が存在する。その中には洗浄や乾燥などの非生産的なものも多々あり、それらが自動機械によって代替できれば有用であると考えられる。

本研究では、布製品に関する作業の一つである衣服のハンガーかけに着目する。この作業では、布の変形性もさることながら、布が伸び縮みすることも考慮に入れる必要がある。そこで、ハンガーを布に対して所望の配置に移動できていることを確認する手法と、布の引っ張り状況を推定する手法を組み合わせることで、作業の状況認識をおこない、ハンガーかけを実現する。

代表的な衣類としてTシャツを選び、それをハンガーにかけることを考える。一つの手順として以下がある（図1）。

- (1) ハンガーの片側（図1中(a)）をTシャツの首部分に挿入する。
- (2) 挿入した部分をTシャツの襟首に引っ掛けて、引っ張り伸ばす。
- (3) 伸ばして開いた部分に、ハンガーのもう一方の端（図1中(b)）を回転させながら入れる。

この手順の利点は、作業中の布製品の変形を少なく抑えられるところにある。また、ハンガーの持ち替えが発生しない点においても、自動化に向いている。しかしながら、ある程度の変形が起きるため、それを認識しながら作業を進める必要がある。

本研究では、布が引っ張られる際に生じるシワに着目した画像処理手法により、ハンガーかけ作業中の衣類の状態

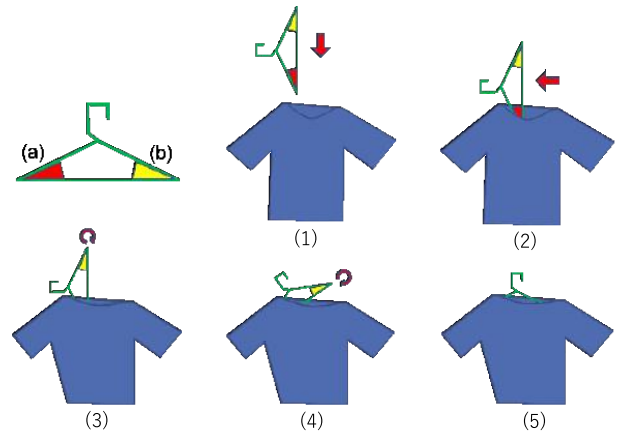


Fig. 1: hang clothes on hangers

を認識する。そのようなシワは引っ張りの方向と平行に出ることが多いことから、その位置と長さの分布から布製品の状態を知る。一方で、ハンガーかけをおこなっている最中のハンガーの見えの変化を観測することで、作業の遂行状態を推定する。作業の様子を正面から観測したとき、布とハンガーが隠し隠される関係になっていることに着目し、重畳関係に基づいた判定をおこなう。

2. 本研究の位置づけ

布製品の自動操作に関する研究は近年盛んにおこなわれている。扱われる課題としては布を展開する（広げる）作業が多く、矩形布製品の展開 [1][3] や、衣類の展開 [2][4] などが実現されている。この延長として、布製品をたたむ行動も着目されており、無造作に置かれた状態の布製品を所望の形態へ移行されることができている [5]。

これらの研究では、布の変形は想定していても、伸縮については想定していない。よって、布製品に空いている穴に何かを挿入するような作業を考えたとき、もし引っ張りのない状態のときに挿入物の大きさが穴よりも大きければ、挿入作業はできないと判断される。しかしながら、布製品の中には伸縮する素材のものも多く、その扱い方によっては、上述のような挿入作業も可能になる。本研究ではこのような作業を自動化することを目指し、その一例としてハンガーかけに着目する。このほかにも、着衣などの日常生活の補助や、物流現場での梱包作業、製造現場での組み付け作業などにも類似した展開があると考えている。

3. 状態記述のアプローチ

ハンガーかけ作業において以下2点の状態認識に着目する。

- A:** ハンガーの挿入操作に伴う衣類の形状状態の予測
- B:** ハンガーの挿入操作に伴うハンガーの視認可能領域の検出

Aについては、布のシワを利用しておこなう。伸縮性のある布は、その一部をつかんで所定の方向に引っ張ると、その引っ張りと同じ方向にシワができやすい。よって、シワの存在とその長さを観測することで、引っ張りの状態を知ることができる。そこで、作業中のカラー画像列からシワの情報を抽出し、それにより状態を推定する。一方でBについては、ハンガーの隠れ状況を観測することでおこなう。ハンガーの挿入作業の際、衣類の穴に入れることができた場合とそうでない場合では、ハンガーの見え方は変わるはずである。もしハンガーを衣類よりも手前側におろしてしまっただけでは、ハンガーの全体が見えたままであり、うまく穴に入れば、入った分だけ視認できる部分が少なくなる。従来研究 [6] でも、同様の問題を重畳関係を推定することによって認識させている例があり、本研究でもこの考え方を導入する。

3.1 衣類の形状状態の記述

衣類のシワを画像処理で捉えるにあたり、緩やかな濃淡変化のエッジがある部分がシワである可能性が高いと考える。そのような部分の抽出のため、本研究では次のような手順をとる。まず、画像に平滑化処理を加える。この平滑化はシワを検知することが目的であるため、畳みこみの窓の大きさを、一辺十数ピクセル程度の大きなものにする。ガウシアンフィルタ等で処理時間が問題になる場合は、

ボックスフィルタを利用すればよい。次に、縦方向、横方向について、画素間での差分をとる。すなわち、

$$\begin{aligned} D_x(u, v) &= I(u + \Delta u, v) - I(u, v) \\ D_y(u, v) &= I(u, v + \Delta v) - I(u, v) \end{aligned} \quad (1)$$

である。ここで、 (u, v) は差分結果を得たい画素の座標であり、 I は平滑化後の画像である。 $\Delta u, \Delta v$ はそれぞれ横方向、縦方向の平行移動成分であり、平滑化のウィンドウサイズと連動させて決める値である。

この二つの差分値から、各画素における方向成分 $\theta(u, v) = \tan^{-1}(D_y(u, v)/D_x(u, v))$ を求める。もし (u, v) がシワ部分の画素座標であれば、周囲の画素と同じ方向成分を持つはずである。そこで、方向成分を出したのちに、角度方向毎に異なる濃度を持たせたグレースケール画像を生成する。この画像を引っ張り前と引っ張り中で比較したとき、変化がほとんど見られなければ作業が失敗していると判断できる。

引っ張りの可否よりも詳細な情報を得たい場合は、以下のような拡張も可能である。まず、方向成分を出したのちに近傍画素でのグルーピングをおこない、似た方向成分を持つ画素群を一つのクラスタとする。次に、引っ張り伸ばしたシワ部では、引っ張りの方向に対して平行で細長いクラスタが生成されることに着目し、各クラスタを楕円近似して長軸を求めて描画すると、シワの存在が線分の方向と数の情報として得られる。

3.2 視認可能領域の変化の観測

ハンガーを鉛直下方向に下ろしていき、衣類の首回りの穴に入れた状況を考える。このとき、ハンガーの底部は衣類の表側の布に隠されることとなり、ハンガーが衣類の前面に来た場合と比べると、視認できる部分が減る。さらに、ハンガーが衣類の背面に来た状況では、ハンガーの底部は衣類の裏側の布にも隠されることとなるため、ハンガーを衣類の首回りの穴に入れた状態よりも、視認できる部分が減る。従って、それらを観測することにより、ハンガーが穴に入らず衣類の前面に来た場合、ハンガーが穴に入った場合、ハンガーが穴に入らず衣類の背面に来た場合の3つの状態を判別することができる。

この判別を以下のようにおこなう。ハンガーかけの作業をハンガーをほぼ正面から観測できる視点から撮影した画像があるとする。まず、画像を sobel フィルタによって畳み込み積分したのち、方向が水平から $50^\circ \sim 70^\circ$ となるようなエッジを衣類の首回りの穴のエッジとして抽出し、方向が水平から $80^\circ \sim 95^\circ$ となるようなエッジをハンガー底部のエッジとして抽出する。その後、抽出した両エッジを観察し、ハンガーを鉛直方向に下ろす動作をおこなったあ

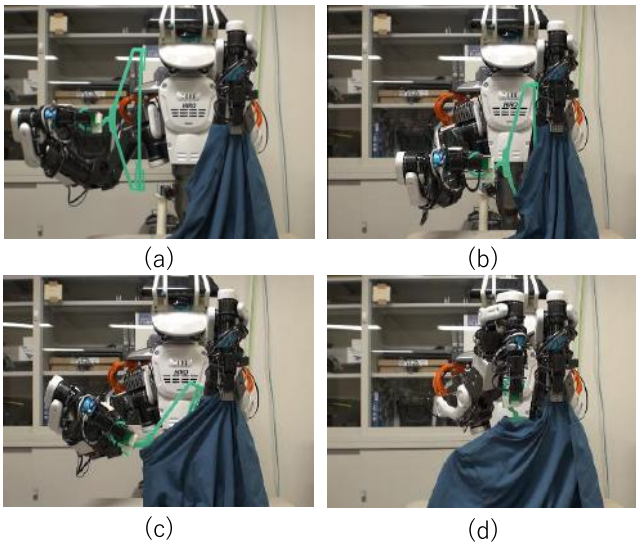


Fig. 2: State during the experiment

とのハンガー底部のエッジと衣類の首回りの穴のエッジの関係性により、ハンガーの現状を次のように判断する。

- 1 ハンガーの底部が抽出したエッジを完全に両断した場合、衣類の前面に存在
- 2 ハンガーの底部が抽出したエッジの一部分のみ両断した場合、衣類の中に存在
- 3 ハンガーの底部が抽出したエッジを全く両断しなかった場合、衣類の背面に存在

この手順を用いることで、前述した3つの状態を、ハンガーに手を加えることなく検出できる。一方で、この条件では、衣類の首周りの状態によっては、後ろ側に下ろされた状態と衣類の中に下された状態とを判定することが難しくなる場合がある。ただしその場合については、その後に襟首を引っ張る動作を始めたとき、その過程での衣類のシワの形状の変化を観測し、大きな変化が見られない場合は、ハンガーが後ろ側に下ろされたため作業が失敗していると判断することができる。

4. 実験

双腕ロボットにより長袖シャツをハンガーにかける実験をおこなった。用いたロボットは川田工業株式会社製のHIROであり、片腕6自由度、腰1自由度、首に2自由度の関節構造である。エンドエフェクタは1指2関節の対向2指ハンドである。頭部にはMicrosoft Kinectを搭載した。

図2にハンガーかけ実験のスナップショットを示す。初期姿勢やその後の手先軌道は人手で与えた。左手の初期姿勢

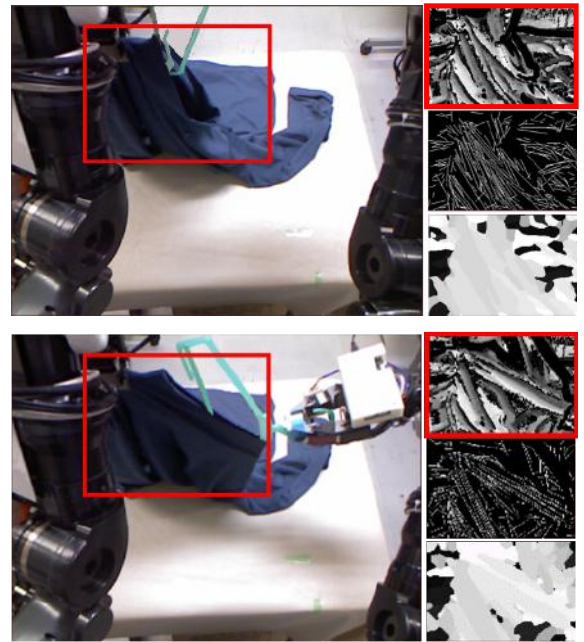


Fig. 3: State description of clothing based on wrinkles

はロボットの原点から $(x, y, z) = (0.5, 0.1, 0.4)[m]$ の位置にとるものとし、以降は動かさないものとする。右手の初期姿勢はロボットの原点から $(x, y, z) = (0.5, -0.1, 0.3)[m]$ の位置にとるものとし、以降の手先軌道は、1章で紹介した手順に基づき、引っ張り伸ばす動作を y 軸方向に $0.07[m]$ 移動するものとして作成した。ただし、ロボットの原点から奥行方向に x 軸、左手方向に y 軸、高さ方向に z 軸をとるものとする。成功した場合と失敗した場合のいくつかのパターンについてのデータを取得した。

図3は、シワの検出により形状状態を記述した結果の例である。左は原画像であり、右側の3枚の画像は原画像の赤枠部を処理した結果である。上段の画像は、エッジの方向によって各ピクセルの濃度を変えて表示した画像である。中段は、上段の結果から同じ方向成分を持つピクセルのクラスタリングをおこない、それぞれのクラスタを楕円近似したときの長軸を描画した結果である。垂れ下がりや引っ張りにおけるシワの存在が見て取れる。下段は、中段の結果をより一般的な知識にするための加工を施したものであり、それぞれのピクセルが持つべきエッジの方向によって濃度を分けた画像である。ハンガーかけの作業中にこの画像を見ることで、引っ張り等が問題なく進んでいることを確認できると考えられる。

3.2章で提案した判別方法について、実際にどの程度の精度で3状態を判別できるか検証実験をおこなった。図2の(b)のようにハンガーを鉛直下方向に下す動作の際、3.2章で示した3状態のいずれかになるよう初期姿勢を与え、ハンガーを下す動作の後、判別をおこなった。検証は、3状態についてそれぞれ30回ずつおこなった。

Table. 1: result 1

		判定結果		
		服の中	服の手前	服の奥
実際の状態	服の中	27	0	3
	服の手前	0	30	0
	服の奥	4	0	26

Table. 2: result 2

		判定結果		
		服の中	服の手前	服の奥
実際の状態	服の中	10	0	0
	服の手前	0	10	0
	服の奥	1	0	9

表1に判別をおこなった結果を示す。ハンガーが衣類の前面に来た場合についてはすべて判別できた。ハンガーが穴に入った場合と、ハンガーが衣類の背面に来た場合の判別では、3~4回ほどの誤判定が生じてしまっている。本来二重となって見えるはずの衣類の首周りの部分が、ロボットから見て奥側の布よりも手前側の布のほうが高い位置に存在することで、奥側の布が視認できず、誤判定がおきてしまったと考えられる。この誤判定の対策としては、先の実験で確認したように、後の襟首を引っ張る動作を始めたとき、その過程での衣類のシワの形状の変化を観測することで、正確な判断ができると考えられる。そこで、さらに3.1章で述べたシワ部分を可視化した画像を用いた判定方法を加えて、3状態についてそれぞれ10回再検証をおこなった。

表2に再検証した結果を示す。ハンガーが衣類の背面に来た場合の判別で1回誤判定が出ているものの、先ほどの検証結果より判定精度が向上していることが確認できる。

5. 結言

本稿では、衣類をハンガーにかける作業を題材として、伸縮性のある布を操作する際のセンサデータの加工方法について述べた。衣類のシワの変化とハンガーの見えの変化に着目し、それぞれについての状態記述の方法を提案した。また、実際のハンガーかけ作業時に取得した画像データを用いて、現状を報告した。さらに、提案した手法について判定精度の検証結果を報告した。

今後は、提案手法を利用してハンガーかけ作業の進行状況の判定をおこない、作業の自動化を進めていく。

謝辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務の結果得られたものです。

参考文献

- [1] E. Ono, K. Kita and T. Sakane: "Unfolding a folded fabric using information of outline with vision and touch sensor," Journal of Japan Robotics Society, Vol. 15, No. 2 (1997), pp. 275 - 283.
- [2] Y. Kita, F. Saito, and N. Kita: "A deformable model driven method for handling clothes," in Proc. of ICPR, pp.1425-1431, 2004.
- [3] 弓場, 守屋, 小石原, 山崎: 「つまみ滑りの失敗検知回復を伴う双腕ロボットによる布製品の展開」, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 講演番号 2A1-10a1, 2016.
- [4] 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.
- [5] M. Cusumano-Towner, A. Singh, S. Miller, J. F. O'Brien, and P. Abbeel: "Bringing Clothing into Desired Configurations with Limited Perception," In Proc. of IEEE ICRA, pp. 18, 2011.
- [6] K. Nagahama, K. Yamazaki, K. Okada, M. Inaba: "Manipulation of Multiple Objects in Close Proximity Based on Visual Hierarchical Relationships," in Proc. of IEEE ICRA, pp.1295 - 1302, 2013.