

単腕ロボットによる 巻き込み防止器具を用いた矩形布生地の展開

Unfolding a Rectangle Fabric by a Single Arm Robot with an Assistive Instrument

○弓場寛之(信州大学) 山崎公俊(信州大学)

Hiroyuki Yuba, Shinshu University 10t1078d@shinshu-u.ac.jp
Kimitoshi Yamazaki, Shinshu University kyamazaki@shinshu-u.ac.jp

We propose a method to unfold an item of rectangular clothing by using a single arm robot. In the unfolding problem, two problems were found: entrainment problem and outward warp problem. To solve the former, we made an instrument for preventing the entrainment problem. To solve the latter, we proposed an algorithm that judges a warping form of an item of clothing by SVM. Using four kinds of fabric, we performed unfolding experiments..

Key Words: Single arm robot, deformable object, fabric unfolding.

1. 緒言

布製品を操作する作業は、クリーニング店や医療機関、飲食店等に多く見受けられる。しかし、その作業は人手によるものが多く、自動化がなされている場合は少ない。

こういった背景から、これまでに双腕のロボットを用いた布製品の操作に関する研究が報告されている[1]。しかし、2本のアームを同時に操作する柔軟物体のハンドリングは、操作が複雑になる場合が多く、技術的に難しい。また、アームを複数搭載することのコストを考えると、普及が困難であることが予想される。

本研究の目的は、双腕よりもコストが低く、そして簡便な機構の単腕のロボットを用いて、布製品を操作することである。類似した従来研究としては、単腕のロボットを用いて積層された布から1枚の布を摘み上げる手法[2]などがある。こういった背景により、単腕のロボットによる柔軟物体のハンドリングは学術的にも実用的にも意義深い。本稿では、布製品の操作のうち、矩形の布生地の単腕のロボットにより机上に展開する動作の実現について報告を行う。

本論文の構成を以下に示す。第2章では、単腕のロボットにも可能な矩形の布生地の展開手法の提案を行う。ここでは、本論文における布生地展開の成否についても併せて定義する。第3章では、前章で提案した展開手法を用いた際に発生する2つの問題について述べる。第4章、第5章では、それら2つの問題に対する解決策をそれぞれ述べる。第6章では、第4章、第5章で述べた解決手法に基づき、ロボットを用いた実験を行い、その結果とそれに対する考察を述べる。そして第7章では、本論文のまとめと今後の課題を述べる。

2. 机の角を利用した布生地の展開手法

単腕ロボットによる矩形の布生地の展開手法として、本論文では以下に示す3つの手順を提案する。

- (1) 机上に置かれた矩形の布生地の角を認識・把持する。
 - (2) 把持した布を机の角の位置まで持っていく。
 - (3) 机の角に布を当てながら机上に引き上げ展開する。
- 以上をロボットによって行ったときの様子を図1に示す。この手法の利点は、机の角という一般的な生活環境下にある環



Fig. 1 Unfolding a cloth



Fig. 2 Success of Unfolding

境構造を利用して行えることである。

ここで、本研究における矩形の布生地の展開の成功を定義する。この手法によると、図2中央、右に示すように、完全な展開が出来ない場合がある。しかし、本研究の最終目標は布生地の折り畳みであることから、少なくとも3箇所以上の角が視認出来れば、次の動作への展望が見えやすいと考え、展開は成功したものとみなす。このことより、展開の成否を以下のように定義する。

- [I] 展開の成功：図2のように角が3つ以上視認可能な状態
- [II] 展開の失敗：[I]以外の状態

3. 展開動作時の問題

本章では、前章で述べた展開手法を用いる際に発生する2つの問題点を述べる。

3.1 巻き込み問題

1つ目は、図1(3)のように布を机上に引き上げる際、図3左に示すように、机の縁に接触した布が内側に巻き込まれてしまう問題である。机上に引き上げた後、布は図3右のように角が2つしか視認出来ない状態となって、展開が失敗する。本論文ではこれを「巻き込み問題」と呼ぶことにする。

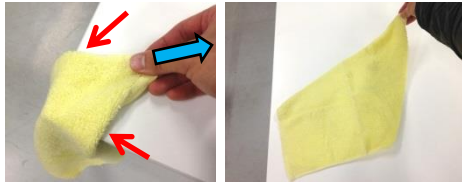


Fig. 3 Entrainment

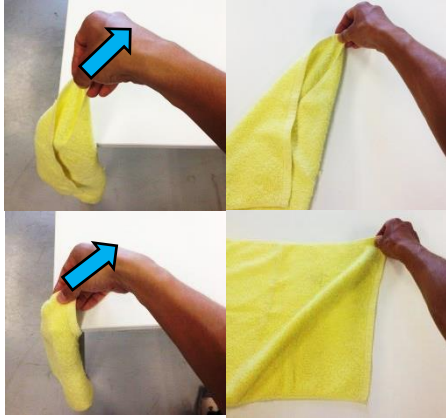


Fig. 4 Outward warp and Inward warp

3.2 外反り問題

2つ目は、把持した布を机の角まで持ってきた際の布の反り方によって、展開の成功率に差が生じる問題である。図4左に示すように、布を机の角に移動させた際の反り方は、上段のように布の縁が机の角に対して外向きになるか、下段のように内向きになる場合が多い。本研究では、前者を「外反り」、後者を「内反り」と呼んで区別することにする。図4右に示すように、それぞれを机上に引き上げると、外反りは内反りに対して展開が失敗しやすい。本論文ではこれを「外反り問題」と呼ぶことにする。

次章以降では、これらの問題に対する具体的な対処法をそれぞれ述べていく。

4. 巻き込み問題の解決

巻き込み問題は、布の縁と机の縁との摩擦により発生する。そこで図5に示すように、机の角に矢印型の補助具を装着することにより巻き込みの抑制を図ることにした。この補助具が巻き込みを解消する様子を図6に示す。この図のように、補助具を装着したことにより、机の縁と布との間に所定の隙間が空き、巻き込みを解消することが出来る。また、この補助具の頂上部には耐水ペーパーを貼ってあり、これについては第6章で述べる。

この形状の他にも、図7に示すような様々な補助具を作成し、人の手による展開実験で性能の比較を行った。それぞれ(a)円盤型の板、(b)銀杏型の突起、(c)扇形の板、(d)矢印型の突起となっている。各補助具の材質は表1に示す。これらを用いて、表2に示すような4種類の大きさの布に対し、各10回ずつ展開実験を行ったときの成功回数を図8に示す。この実験の結果、(d)矢印型の突起が最も高い成功率を示した。

以上より、巻き込みを防止するために(d)矢印型の突起を展開補助具として用いることで、問題の解決を図った。

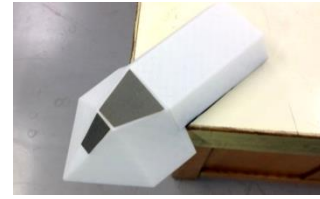


Fig. 5 Assistant instrument preventing entrainment

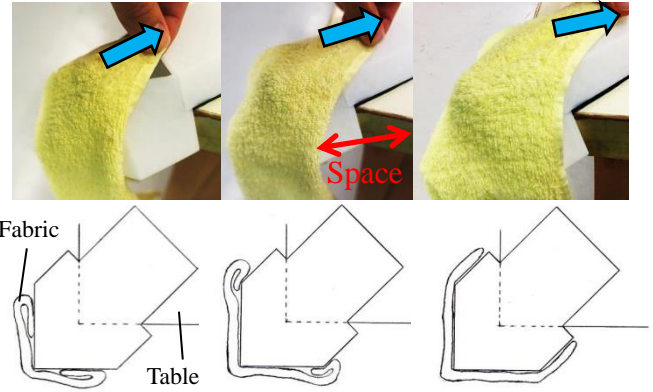


Fig. 6 Removing entrainment

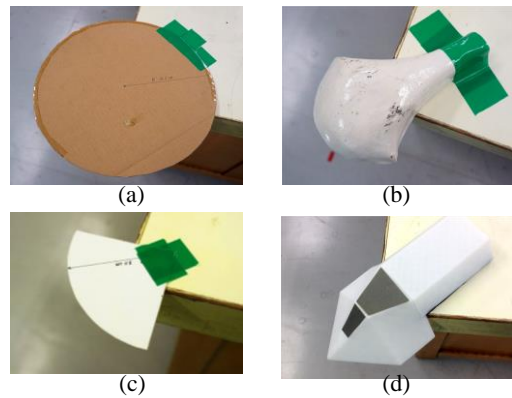


Fig. 7 Types of the assistant instrument

Table 1 Material of assistant instrument

Shape	Material
(a)Disc	Cardboard
(b)Ginkgo	Paper clay
(c)Fan	Cardboard
(d)Arrow	ABS

Table 2 Size of fabric

Fabric	Size[mm]
Face towel	325×750
Kitchen cloth	360×450
Handkerchief	455×465
Bath towel	600×1160

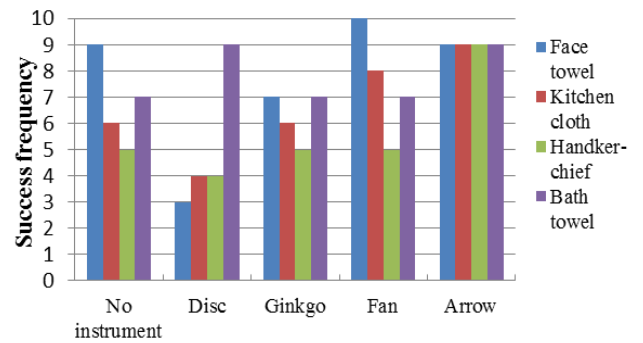


Fig. 8 Result of the experiment by human

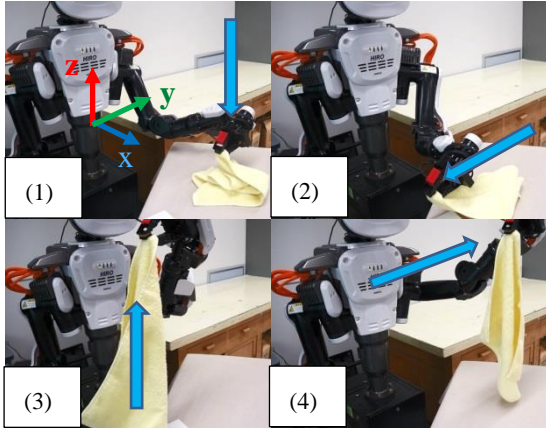


Fig. 9 Removing outward warp

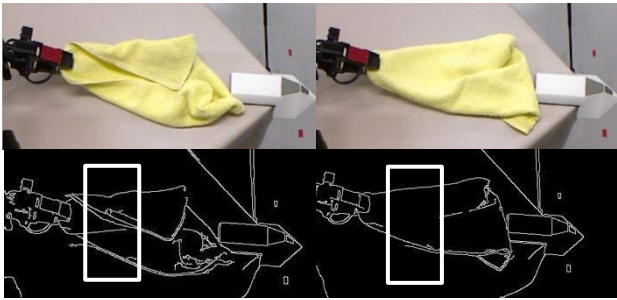


Fig. 10 Sampling the rectangular area

5. 外反り問題の解決

外反りが発生した場合は、図 9 に示すようにロボットが腕を振り回し、外反りを振りほどいて内反りに変えてから展開動作に移るようにする。この動作について、以下ではロボットの腰軸中央に右手座標系の原点があるとして説明を行う。ただし、ロボットから見て正面が x 軸正方向、左が y 軸正方向となるように座標を取る。

- (1) 布を把持した手を所定の高さ z まで上げた後、時間 Δt 秒の間に $-\Delta z$ だけ動かす。
- (2) 手を時間 Δt の間に $-\Delta y$ だけ動かす。
- (3) 手を時間 Δt の間に Δz だけ動かす。
- (4) 手を時間 Δt の間に Δy だけ動かす。

この動作を、ロボットが布の形状を確認し、外反りであると判断した場合に行うことで外反りを解消する。

ここで、外反りを判定するための手法について述べる。布を把持した後、机の角に移動させる前に、図 10 上段に示すように把持した状態のまま机上に横置きにする。この後、図中右にある補助具の前まで布を移動させることを考えると、上段左に示した置かれ方のときに外反りに、上段右に示した置かれ方のときに内反りになる可能性がそれぞれ高くなる。そこでまず、カメラから得られるこれらの画像に対して Canny フィルタを用いてエッジ検出を行い[3]、図 10 下段に示すように、ハンド付近の矩形領域を抽出する。ここに、領域内にエッジが 3 本以上見える方(図 10 下段左)が外反り、2 本しか見えない方(図 10 下段右)が内反りである。これらはそれぞれ次のような特徴を持っている。

内反り：領域内の一番上と一番下のエッジの間に他のエッジが映っていない

外反り：領域内の一番上と一番下のエッジの間に他のエッジが映っている

そこでこれらを以下の手法により区別する。まず矩形領域を

走査し、画素値が 0 でない画素(エッジが検出されている画素)の個数 N を得る。またそれらのうち、最小の行番号を持つ画素の行数 R_1 と最大の行番号を持つ画素の行数 R_2 も合わせて取得する。ここで R_2 と R_1 の 2 数の差を整数 n で割った値として、 d を以下のように得る。

$$d = \frac{R_2 - R_1}{n} \quad (1)$$

ただし、 d が整数にならなかった場合は四捨五入して整数にする。続いて、矩形領域の R_1 行目から $R_1 + nd$ 行目までの区間を n 等分に分割し、画素値が 0 でない画素の区間ごとの個数 N_1, N_2, \dots, N_n を得る。最後にそれらを N で正規化した値を要素を持つベクトルとして、以下に示す D を得る。

$$D = \left[\frac{N_1}{N}, \frac{N_2}{N}, \dots, \frac{N_n}{N} \right] \quad (2)$$

すなわち、 D は画素値を持つ画素の個数の、区間ごとの密度を要素を持つベクトルである。この D について、外反りと内反りとでは次のような傾向が得られることが予想される。

外反り： D の各要素は 0 以外の値を取り得る場合が多い。

内反り： D の中央付近の要素は 0 となる場合が多い。

この予想に基づき、SVM を用いた機械学習を行う[4][5]。まず、図 10 に示すような外反りと内反りの学習サンプルを何枚か用意し、それらに対して上述した処理を行い、ベクトル D を得る。それらのデータにラベリングを行い、SVM に入力することで、外反りと内反りの判別器を作る。これを実際の展開時に用いることにより、外反りと内反りの判別を行う。外反りと判別された場合は、冒頭で述べた動作により、外反りを解消してから展開動作に移るようにする。

6. 実験

6.1 実験手順

実験には川田工業株式会社製のロボット HIRO を使用した。このロボットは双腕のヒューマノイドであるが、実験時には左腕のみを使用した。ロボットの頭部には Microsoft 社製の Kinect を搭載した。

以下に示す 3 つの手順を 1 回とした実験を行った。

- (1) 机上に置かれた布の角を認識・把持させる。
- (2) 机の角に置かれた補助具の手前まで布を移動させる。
- (3) 机上に布を引き上げ展開する。

この実験の様子を図 11 に示す。(3)が終了した時点で、2 章で述べた条件に基づき、展開の成否を判断した。これを表 3 に示した 4 種類の大きさの布に対して各 20 回ずつ行い、展開の成功率を調べた。

6.2 実験条件

実験の条件として、

- ・外反り判定時の各パラメタの値
- ・布の初期状態
- ・実験手順(3)におけるロボットの腕の軌道

の 3 つを設定する。

5 章で述べた外反りを振りほどくための動きを作るパラメタとして、 $\Delta y, \Delta z, \Delta t$ をそれぞれ $\Delta y = \Delta z = 400[\text{mm}]$, $\Delta t = 1.0[\text{sec}]$ とし、抽出矩形領域の分割数 n は 10 とした。SVM に入力する学習データの画像数は、外反りと内反りのそれぞれについて各 20 枚ずつ、計 40 枚を用いた。

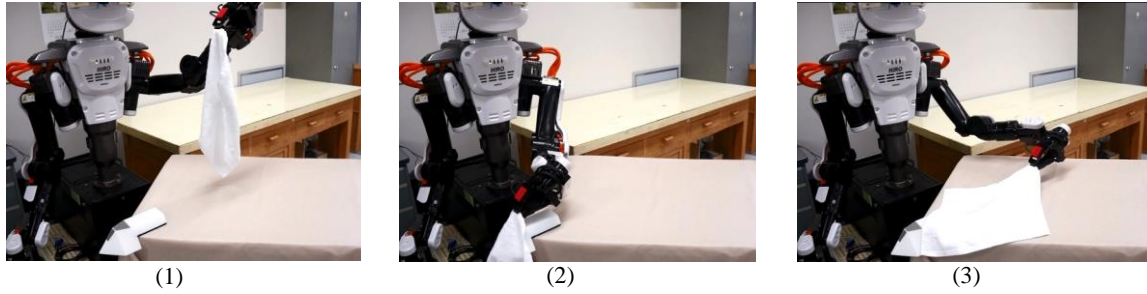


Fig. 11 Unfolding a fabric by robot

Table 3 Size of fabric

Fabric	Size[mm]
Face towel	330×450
Wet towel	340×335
Dish cloth	350×460
Napkin	420×395



Fig. 12 Initial condition

また、本システムには乱雑に置かれた矩形の布から角を発見する機能が実装されていないため、図 12 に示すように、布は角が左に来ている状態を初期状態とし、実験手順(1)においてはこれを把持するものとした。

さらに、実験手順(3)において、布を机の上に引き上げるときは、机の縁から 45 度の方向に直線軌道で引くものとした。

6.3 実験結果

前章までの条件に基づき展開実験を行った。実験結果を表 4 に示す。布ごとの成功回数を比較すると、最大はおしぼりを用いた際の 17 回、最小は布巾を用いた際の 13 回となった。それ以外はいずれも 15 回となった。失敗時の要因としては、図 13 に示すように机の上に布を引き上げる際に机の縁に沿って布が横に滑り、しわが寄ったことによる展開の失敗が 11 例、外反りの振りほどきに失敗したにも関わらず、誤判定により展開動作に移ってしまったことによる失敗が 4 例、動作の途中で把持した布を落としてしまうという失敗が 3 例、巻き込み問題の発生による失敗が 2 例であった。

6.4 考察

まず本実験の結果、巻き込みは 80 回中 2 回しか発生していない。これは、机の角に設置した巻き込み防止器具が十分な効果を発揮していることを示唆している。この補助具の形状は、様々な形状の中から人手による実験の結果として選んだものであるが、これをさらに改良し、より確実に巻き込みを抑制していくことを今後の課題としたい。

これに対し、展開時に布が横に滑ってしまう場合が多く見受けられた。対策として補助具の頂上部に耐水ペーパーを貼付し、布と補助具の接触面における摩擦を大きくすることで問題解決を試みたが、大きな効果は見られなかった。これは補助具以外にも、机の上に布を引き上げる際のアームが直線軌道であることが大きく影響していると考えられる。補助具の改良とともに、布が横に滑っている状況を認識し、それに応じてアームの軌道を変えるような機能の実装が要求される。

その他、本実験で用いた外反りの判定機能は、Canny フィルタの特性上、無地の布にしか使用できないという問題が見られた。

Table 4 Result of the experiment

Fabric	Success frequency	Success rate
Face towel	15	75%
Wet towel	17	85%
Dish cloth	13	65%
Napkin	15	75%



Fig. 13 Side gliding

7. 結言

本稿では、矩形の布生地を単腕のロボットに展開させるための手法の提案を行った。また、その手法を用いた際に発生する問題点と、それぞれに対する解決策を提案した。さらにロボットを用いた実験を行い、展開の成功率と失敗時の要因を調べ、それらに対する考察を行った。今後の課題としては、6.4 節で述べたものの他、乱雑に置かれた矩形の布生地から角を発見するための機能の実装や、机の上に展開された布を単腕で折りたたむための動作の考案などが挙げられる。

文 献

- [1] Jeremy Maitin-Shepard, Marco Cusumano-Towner, Jinna Lei and Pieter Abbeel, "Cloth Grasp Point Detection based on Multiple-View Geometric Cues with Application to Robotic Towel Folding", Proc IEEE Int Conf Rob Autom, Vol.3 pp.2308 – 2315 2010
- [2] 産総研 (2014) 「-特許紹介- 布のハンドリング技術」, <http://www.aist.go.jp/aist_j/research/patent/2001/11_2/>, (参照 2014-3-6)
- [3] Gary Bradski, Adrian Kaehler, 松田晃一(訳):" 詳解 OpenCV——コンピュータビジョンライブラリを使った画像処理・認識", pp377-380 2009 年
- [4] Junichi IDO 他 (2014) 「サポートベクターマシン - opencv 2.2 documentation」 <http://opencv.jp/opencv-2svn/cpp/ml_support_vector_machines.html> (参照 2014-1-31)
- [5] 怡土順一 (2007) 「opencv.jp - OpenCV: サポートベクターマシン (Support Vector Machine) サンプルコード -」, <<http://opencv.jp/sample/svm.html>> (参照 2014-1-31)