

双腕ロボットによる摘み滑り動作を伴う矩形布生地を展開 Unfolding a Rectangular Cloth by a Dual Arm Robot by Pinching-and-Slipping Motion

○弓場寛之 (信州大学) 山崎公俊(信州大学)

Hiroyuki Yuba, Shinshu University, 14tm131b@shinshu-u.ac.jp
Kimitoshi Yamazaki, Shinshu University, kyamazaki@shinshu-u.ac.jp

We proposed a method of unfolding a rectangular clothing by dual arm robot. Using the pinching and sliding motion, a robot has to recognize the shape pattern of the hem line. We classified the pattern into three groups: type (a), type (b) and type (c), and made an identification process using Laplacian filter. Using this system, we performed unfolding experiment and it was successful in 64 percent.

Key Words: Dual arm robot, Clothing, Unfolding, Pinching-and-slipping motion

1. 緒言

布製品を取り扱う作業は、アパレルショップや病院等の様々な施設をはじめとし、一般家庭における家事などにおいても多く見受けられる。こうした背景から、ロボットによる柔軟物体の操作研究の一環として、布製品の取り扱いに関する研究がなされてきた[1][2][6][7]。しかし、双腕のロボットは2本のマニピュレータを扱うことにより、その動作計画が複雑化しやすく、作業に時間がかかりやすい。

本研究の目的は、双腕のロボットを用い、簡便な動作手順と短い作業時間で布製品を操作することである。本稿では、机の上に置かれた矩形の布を掴み上げた後、図1に示すような空中での展開動作により展開する手法について検討を行う。類似した従来研究としては、2指のハンドの先に半円形状の指先を装着し、これを用いて矩形の布生地を空中展開する研究が挙げられる[3]。以下ではこの研究に倣い、図1の動作を「摘み滑り動作」、「摘み滑り展開」、または単に「摘み滑り」と呼称する。この手法は人間が矩形の布生地を展開、折り畳む際にも見受けられ、効率的に展開を行うことが出来る。この動作をロボットに行わせることで、双腕ロボットによる布製品の展開に要する作業時間の短縮を目的とする。文献[3]では、ロボットが布を把持した状態を初期状態としていた。本研究では布が机の上に置かれた状態を初期状態とし、そこから適当な把持位置を画像処理によって発見した後、ロボットに把持させるものとする。

本論文の構成を以下に示す。第2章では、双腕のロボットによる矩形の布生地を展開手法の提案、及び本論文の前提となる条件を述べる。第3章では、前章で提案した手法を用いる際に発生する問題を述べ、続く第4章でその解決手法を述べる。第5章では、摘み滑り動作の具体的な把持姿勢等について述べる。第6章では、ロボットを用いた実験とその考察を述べる。そして第7章で、まとめと今後の課題を述べる。



Fig.1 Pinching-and-slipping motion by human's hand

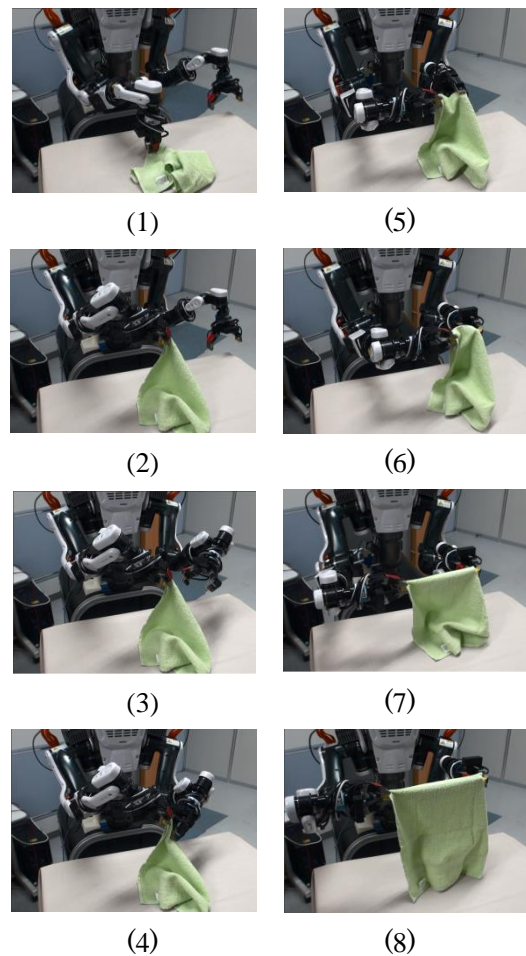


Fig.2 Unfolding a rectangular cloth

2. 展開手法の提案

双腕ロボットを用いた矩形の布生地を展開方法として、本研究では以下に示す3手順を用いる。

1. 机の上に置かれた布の角を視認・把持して摘み上げる
2. 摘み上げた布の縁を視認し、もう一方の手で把持する
3. 摘み滑り動作により布を展開する

以上をロボットに行わせたときの様子を図2に示す。

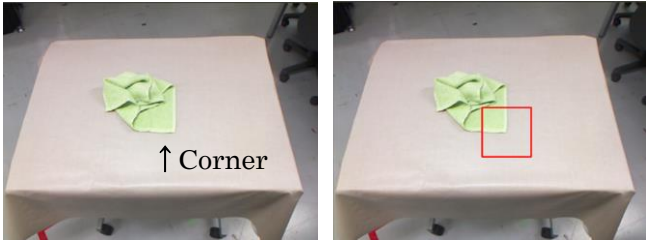


Fig.3 Corner of an item of rectangular clothing

一般に机上に乱雑に置かれた布は必ずしも角が視認出来る状態にはない. しかし図 3 左に示すように, 1 箇所以上の角が視認できる状態であれば, それを把持, 持ち上げることで, 摘み滑り動作により展開を行える可能性がある. 本研究は, 初期状態に関わらず同一の動作計画に基づいて作業を行うシステムではなく, 状態次第で適宜行動を変えながら, 布製品を展開するシステムの構築を最終目標としている. そこで本稿では, その一環として, 布の初期状態がロボットにとってある程度把持し易い形状であるとき, 効率的作業が望める展開手法としての摘み滑り動作に着目し, 実験と検討を行うことを前提とする. まず, 机上に置かれた布の画像に対してパターンマッチング[4]を行い, 布の角を探す. そして当該領域内(図 3 右に示した枠内)が, 次の 2 条件を満たしているかを調べる.

- ・深度の分散がある閾値以下である
 - ・平面の単位法線ベクトルの分散がある閾値以下である
- 以上を満たすものは, 皺や折れ重なりがなく, ロボットが容易に把持出来る可能性が高い. これを把持位置としてロボットに与えた後, 前述の手順により展開を行う.

3. 展開動作時の問題

本章では, 前章の手法を用いた際に発生する問題について述べる.

前述の手順 2 において, 布の角を把持, 持ち上げた際, もう一方のハンドで把持すべき縁の状態は, ロボットの側から見て図 4 に示すような 3 つに大別される. (以下では, 右手で布の角を把持し, 左手で縁を掴むことを想定して議論を行う)

- 縁がハンドの下方に伸びている
- 縁がハンドの左側方に伸びている
- 縁がロボットの側から視認出来ない奥の方にある

ロボットは縁の状態がどれに該当するのかを認識し, 次の行動を決定しなくてはならない. すなわち図 5 に示すように, (a)であればハンドを布の手前から近づけて縁を把持し, (b)であればハンドを布の左側方から近づけて縁を把持する. (c)については, 摘み滑り展開を行うことが困難と判断し, 別の動作計画(本稿では未検討)に移るべく, 動作を中断する.

次章において, これら 3 つの状態を認識するための手法を述べる.

4. 問題の解決

前章の問題を解決するために, 本研究では Laplacian filter[5]を用いた手法を提案する. 図 6 は, 図 4 の画像にそれぞれ Laplacian filter を適用したものである. このとき(a)~(c)それぞれについて, 画素値の分布は次のような特徴を持っている.

- 下方に伸びる縁を境に画素値が大きく下がっている
- 左側方に伸びる縁に沿って画素値が高くなっている
- 全体的に概ね画素値が高い

この特徴に基づき, (a)~(c)を次のようにして認識する.

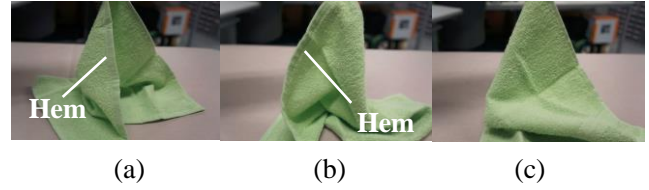


Fig.4 Statuses of hem line

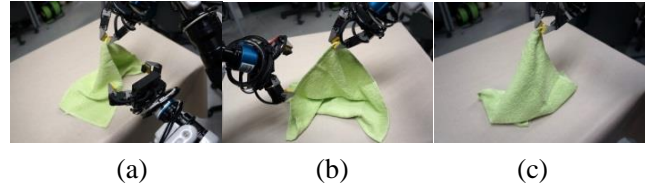


Fig.5 Three types approach

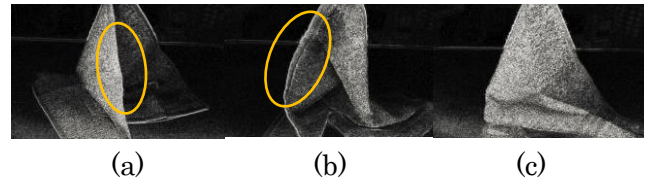


Fig.6 Laplacian Filter

4.1 (a)の認識

まず, Laplacian filter 適用後の画像上に $n[\text{pixel}] \times n[\text{pixel}]$ の探索窓を設け, 左上から順にラスタ走査を行う. そして各探索領域内における画素値の平均を算出し, それらを行列として保存しておく. この行列の各要素を参照し, ある閾値以下の値を全て 0 にすることで得られる行列を M とする.

続いて行列 M の各行を左から順に走査し, 行ごとに式(1)に示す値 d を計算する.

$$d = M_{m,n} - M_{m,n+1} \quad (1)$$

ただし, $M_{m,n}$ は, m 行 n 列目における行列要素の値である. この値 d に対して適当な閾値 $t_M (> 0)$ を設定すると, $d < -t_M$ となる最初の列(以下, $C_{m,\min}$ と呼ぶ)と, $d > t_M$ となる最後の列(以下 $C_{m,\max}$ と呼ぶ)との間に布が存在する領域がある可能性が高くなる.

次に行列 M について, 行ごとに $C_{m,\min}$ から $C_{m,\max}$ までの間を走査していく. ここで再び式(1)に示す値 d を計算していき, 先と同様に適当な閾値 $t_a (> 0)$ を設定することで, $d > t_a$ を満たす箇所が存在するかを調べる. これが複数行に亘って隣接して存在していれば, 布を把持しているハンドの下方に縁が伸びている可能性が高い. 以上の処理を状態(a)の認識に用いた. この処理によって検出された布の縁を可視化したものを図 7 に示す. (見易さのため, 画像の中段付近のみ可視化した)

4.2 (b)と(c)の認識

5.1 において, $d > t_a$ を満たす箇所が複数行に亘って隣接して存在していない場合, 布の縁はハンドの左側方か, または視認出来ない位置に存在していると予想される. そこで今度は, 行列 M の m 行 $C_{m,\min}$ 列目の値と, m 行 $C_{m,\min} + i$ 列目 ($i = 1, 2, \dots, k$) の値との差分に着目した. 前述のように, 状態(b)は布の縁近傍において画素値が高くなるという傾向を持つ. よって, $C_{m,\min}$ 列目から数列隣までの要素との差分を取り, これらが適当な閾値 $t_b (> 0)$ に対して, 少なくとも 1 つ以上 $d > t_b$ を満たすものが複数行に亘って存在していれば, 縁がハ

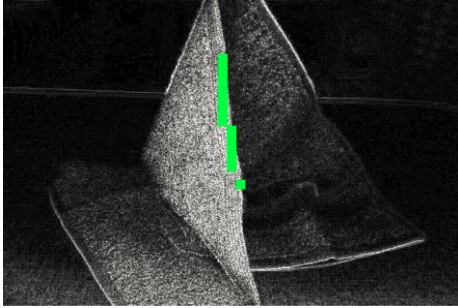


Fig.7 Hem line (a)

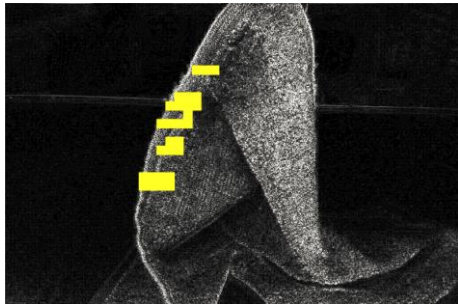


Fig.8 Hem line (b)

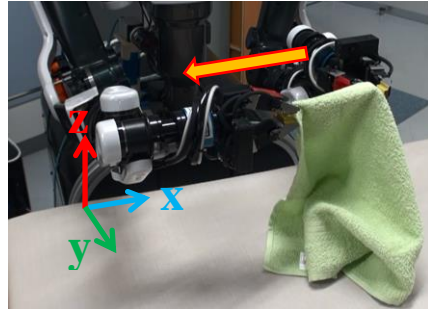
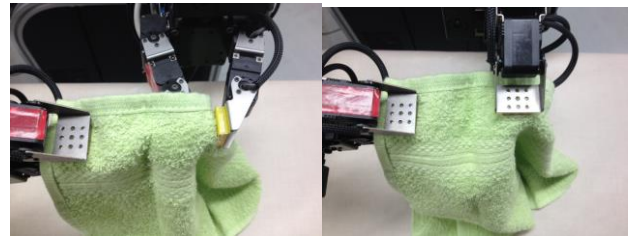


Fig.9 Pinching-and-slipping motion



(1)

(2)

Fig.10 Left hand pose

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。また、ロボットの頭部に Microsoft 社製の Kinect を搭載し、パターンマッチング、及び深度、法線マップを用いた布の角の検出に用いた。さらにロボットの腰軸付近に、Baumer 社製のカメラ VLG-22C を搭載し、前章で述べた状態(a)~(c)の認識に用いるための画像を取得した。実験環境を図 11 に示す。

実験は以下に示す手順を 1 回として行った。

- (1) ロボットが布の角の認識に成功したら、それを右手で把持し、所定の高さまで持ち上げる。
- (2) 腰軸付近のカメラから得られる画像をもとに縁の状態を検出し、その結果に応じて左手で縁を把持する。
(状態(c)と正しく認識された場合、ここで動作は終了)
- (3) 摘み滑り展開の姿勢を作り、布を展開する。

フローチャートを図 12 に示す。手順(3)において、ロボットは右手で布の角を把持し、左手で布の縁を把持したまま、左手の指幅を 5[mm]まで広げ、摘み滑り動作の初期姿勢を作る。その後、右手を x 軸に平行に $-200[mm]$ 引くことで展開を行った。

実験成功の可否は、手順(3)が終了した時点で、ロボットの両ハンドの指が布を折れ重なりなく把持しているか否かにより判定した。なお手順(1)において、初期状態で角が明確に視認できるように布を置いたにも関わらず、発見に失敗した場合は、その時点で実験失敗とみなすものとした。

以上を表 1 に示す布に対して 50 回行い、成功率を調べた。

6.2 実験条件

実験の条件として、手順(1)及び手順(2)における把持位置と把持姿勢について述べる。前者について、ロボットが布の角の認識に成功した後、その 3 次元位置と把持姿勢は、人間がその場で与えるものとした。後者について、縁の状態を認識した後、把持すべき 3 次元位置を認識する処理は未検討のため、把持位置と把持姿勢は人間が予め用意したものを用いた。

ンドの左側方に伸びている可能性が高い。逆にこれを満たしていなければ、縁は視認出来ない位置に存在すると予想される。以上の処理を状態(b)および(c)の認識に用いた。 $d > t_b$ を満たす箇所を可視化し、左側方の縁を検出している様子を図 8 に示す。(先と同様、見易さのため、画像の中段付近のみ可視化した)

5. 摘み滑り動作

第 4 章では、把持すべき布の縁を認識するための手法について述べた。本章では、縁を把持し、摘み滑り展開の初期姿勢を作った後の具体的な動作について述べる。

図 2(6)に示すように、ロボットは布の縁を把持した後、左手の指幅を少しだけ広げ、摘み滑りの初期姿勢を作る。この後の動作としては、主に以下に示す 2 つが考えられる。

- ・指幅を広げた左手の方を滑らせて展開する
- ・指幅を広げていない右手の方を移動させて展開する

本稿では、摘み滑り動作時に布を落としてしまった際の検知機構を実装していない。それを今後の課題として考慮すると、前者は左手の指から布を落としそうになったとき、一度指を開いて布の縁を把持し直すなどの複雑な動作が要求される可能性がある。一方後者は、左手の指から布が落ちそうになっても、布を引く右手の軌道を変えるだけで問題の解決が見込めるため、前者よりも実装が容易であると考えられる。以上の考察により、図 9 に示すように、布の角を把持した右手を x 軸に平行に直線軌道で移動させることで、摘み滑り展開を行うものとした。また、布を滑らせる左手の姿勢については、主として図 10 に示すように、指の隙間の向きが重力方向に対して平行である場合(1)と垂直である場合(2)の 2 通りが考えられる。試行の結果、後者は前者に対し、動作時の指と布との間の摩擦が高く、摘み滑り展開時に布を落とすににくいことが分かった。よって(1)を左手の姿勢として展開を行うものとした。

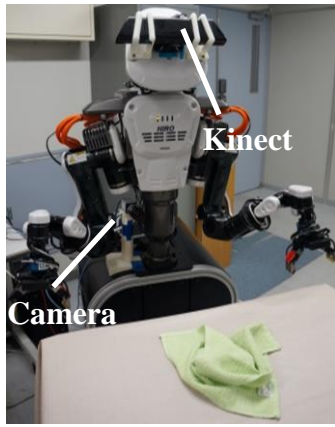


Fig.11 Environmental equipment

Table 1 Clothing item

Image	Property
	Size : 335mm × 340mm Weight : 34.8 g Thickness: 1.74 mm

Table 2 Result of the experiment

Number of run	Frequency of success	Success rate
50 times	32 times	64%

6.3 実験結果

実験の結果を表 2 に示す。表 1 に示した布に対して 50 回の実験を行った結果、成功率は 64% となった。失敗の要因としては、状態(a)を状態(b)と誤認したことによる把持の失敗が 3 回、状態(b)を状態(a)と誤認したことによる把持の失敗が 2 回、縁の把持に失敗して摘み滑りに移れなかったものが 3 回、摘み滑り動作中に布が抜け落ちてしまったものが 10 回であった。

6.4 考察

本実験の結果、縁の状態の認識に失敗した回数は 50 回中 5 回であった。これらはいずれも布の微妙な皺や折れ重なりによる影が原因で発生した誤認だが、9 割の割合で認識に成功したことにより、手法自体は有効であると考察される。本実験の結果は同一の布に対するものであるが、他の種類の布への適用可能性は、今後の課題とする。また、この認識手法は布製品が無地であることを前提としているため、模様を有する布製品への対応も検討していきたい。

対して、摘み滑り動作の際に布が抜け落ちる失敗が 10 回と、他の要因に比べて多く見受けられた。摘み滑りに移る前の縁の把持の失敗が 3 回発生したと併せ、原因は縁の把持位置や摘み滑り動作時の手の軌道を、予め人間が用意してしまっていたことにあると考察される。本論文で述べた縁の状態の認識手法に加え、その後の把持位置と把持姿勢を定めるための手法を導入し、より成功率を上げることが今後の課題として挙げられる。また、摘み滑り動作中の把持状態を検知し、動作の失敗を認識するための方策として、触覚センサーの使用等の工夫が考えられる。併せて検討していきたい。

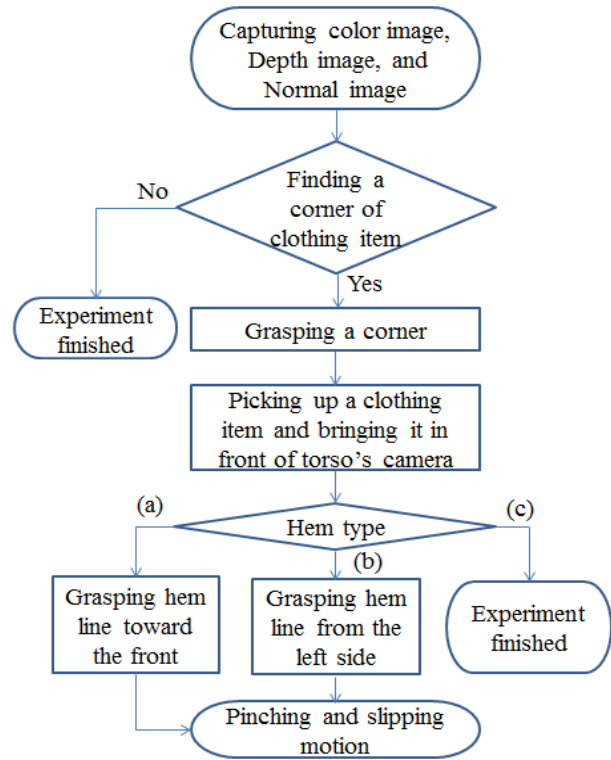


Fig.12 Process flow

7. 結言

本稿では、矩形の布を双腕のロボットによって展開するための手法の提案を行った。摘み滑り動作によって布を展開する際、把持すべき縁の状態を(a)~(c)の 3 つに大別し、それらを認識するための処理を提案した。また、ロボットを用いて実験を行い、その成功率と失敗時の要因について考察を行った。

今後の課題としては、布の縁を把持するハンドの 3 次元位置と姿勢の決定手法の検討、摘み滑り展開の手の軌道の検討、及び動作に失敗した際の失敗の検出手法の検討などが挙げられる。

文 献

- [1] Willimon, B., Birchfield, S., Walker, I.D.: Model for Unfolding Laundry using Interactive Perception. In: IROS, pp. 4871-4876. IEEE Press (2011)
- [2] 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. In ICRA, page 2308-2315. IEEE, (2010)
- [3] 柴田瑞穂, 太田剛士, 平井慎一, 摘み滑り動作を利用した布地の展開動作, 日本ロボット学会誌, Vol.27, No.9 (2009), pp.67-74.
- [4] 怡土順一 (2007) 「opencv.jp - OpenCV: テンプレートマッチング (Support Vector Machine) サンプルコード -」, <http://opencv.jp/cookbook/opencv_img.html#id32>(参照 2015-3-4)
- [5] 怡土順一 (2007) 「opencv.jp - OpenCV: 微分画像・エッジ画像を求める (Support Vector Machine) サンプルコード -」, <http://opencv.jp/cookbook/opencv_img.html#id19>(参照 2015-3-4)
- [6] Hamajima, K. and Kakikura, M., Planning strategy for unfolding task of clothes – Isolation of clothes from washed mass –, in Proceedings of International. Conference on Robots and Systems (2000), pp. 1237-1242.
- [7] 小野栄一, 喜多伸之, 坂根茂幸, 視触覚を用いた輪郭情報に基づく折れ重なった布生地を展開, 日本ロボット学会誌, Vol. 15, No. 2 (1997), pp. 275-283.