

突起状回転体を有する挟み込み式ハンドを用いた 布生地 of 摘み滑り展開

Fabric Unfolding by Pinch-and-Slide Motion Using an Embedded Protruding Rotation Mechanism on a Finger

○ 藤原 俊史 (信州大) 正 山崎 公俊 (信州大) 正 渡辺 哲陽 (金沢大)

Shunji FUJIHARA, Shinshu University, 21w4074f@shinshu-u.ac.jp
Kimitoshi YAMAZAKI, Shinshu University
Tetsuyou WATANABE, Kanazawa University

This paper describes an end-effector for unfolding a fabric product by pinch and slide motion. The end-effector is two-fingered and one characteristic is that a protruding rotation mechanism is embedded to the one side of the fingers. We find that the protrude prevents the fabric from falling off fingers while unfolding by pinch and slide motion. Several experiments were performed to investigate the effectiveness and its rationale, and it was clarified the factors of the effectiveness and how to increase the success rate.

Key Words: Cloth manipulation, pinch and slide unfolding, robot hand, protruding rotation mechanism.

1. はじめに

自動機械に布を操作させることは、挑戦的な課題である。例えば、テーブル上に無造作に置かれた布製品を所望の目標形状に畳もうとする作業を考える。これを人間がおこなうときの手順を観察すると、一般には、置かれた状態から直接的に目標形状を実現するのではなく、まず、その布製品を持ち上げて開いた状態にする、すなわち「展開」の作業が入ることがわかる。この展開作業により、初期の無秩序な形状から、いったん既知の形状へ遷移させることができる。そして、以後は定型的な手順をこなすことで折り畳みなどを実現できる。このことから、布製品の操作においては布を展開することが作業の見通しを立てるための重要なステップであることがわかる。

本研究の目的は、布生地の展開を容易にするエンドエフェクタの提案である。操作方法として、摘み滑り動作[1][2]を採用し、この動作の成功率を高められるようなロボットハンドの構造および動作方法を研究する。摘み滑り動作は、二つのエンドエフェクタがあることを前提とした展開方法である。片方のエンドエフェクタで布の角部等を掴み、もう一方のエンドエフェクタでその近くを掴む。その後、布生地から指が離れないように後者のエンドエフェクタをフチ上を滑らせるように動かす。これにより、二つのエンドエフェクタの間で布生地を展開される。

布生地を展開するための他の方法としては、一方のエンドエフェクタで布製品を掴んでぶら下げ、カメラ等で布製品を計測し、そこから把持点を見つけ出し、そこをもう一方のエンドエフェクタで掴んで展開する方法がある[3][4]。布は様々な形状を取りうることから、この方法では高度な状態推定を要し、それゆえに処理時間が多くかかるケースもある。一方で摘み滑り展開は、すでに一方のエンドエフェクタで把持されている場所付近を別のエンドエフェクタで把持すれば、そこから作業を開始できる。そして、人間であれば把持部を目視し続けなくてもできるような作業である。

しかしながら、摘み滑り展開にはいくつかの作業の失敗要因がある。その一つは布自身のかかる重力である。摘み滑りをしている最中に布が下方に引っ張られ、指の隙間から落ちてしまう。そもそも摘み滑りでは、エンドエフェクタの把持力を布を滑らせられる程度の大きさにするので、そこで重力により布が下方向に滑ることは致し方ないと考えられる。しかし

ながら、この現象をなるべく避ける形で布操作ができれば、摘み滑り展開の有用性が高まると考えられる。そこで本研究では、摘み滑り展開の成功率を向上できるエンドエフェクタを新たに考案することとした。

本研究の貢献は次のとおりである。

- 滑り展開の失敗要因である布生地の折れに対応するため、布生地を挟み込んだ状態で突起と布縁が接触する際に布生地が折れないようにすることで、安定的な滑り展開を可能にする。
- 指腹部に突起をつけ、その突起がベアリングによって受動的に回転できるようにする。これにより、摘み滑り時に布縁の微小な凹凸を捉え続けることを可能にする。
- 製作したエンドエフェクタをロボットアームに取り付けて実験をおこない、提案ハンドの有効性を確認した。

2. 提案エンドエフェクタ

2.1 対象作業と基本方針

本研究では、無造作に置かれた矩形の布生地の角部を拾い上げた状態からの摘み滑りを想定する。つまり布の角部を把持しているが、滑り動作の対象となる布縁の様子は一様ではない。摘み滑り展開は、布生地を摘み上げた手先とは他方の手先を用いて行う。滑り展開は矩形の布生地において、あらかじめ把持した角部と隣り合う角部との間にある縁を用いて行う。しかし布生地は自身の重みによって、把持した角部の対角に位置する角部が最下部になる。そのため滑り動作の対象となる布縁が布生地の中央を向くように大きく折れることがある。しかし折れた状態で展開動作を行うと、布生地がエンドエフェクタに巻き込まれるように引っ張られることになり、うまく展開動作を行うことができない。そのため摘み滑り展開を行うためには布生地の折れを矯正した後に展開動作を行う必要がある。布生地の折れ矯正については2.3節で述べる。

摘み滑り動作は以下の手順で行う。二つのエンドエフェクタがあることを想定し、それぞれを左手・右手と表現する。そして、右手が提案エンドエフェクタである。

1. (左手)布生地の角部を把持させる
2. (右手)左手の付近に移動
3. (右手)エンドエフェクタの形状を利用して折れを矯正

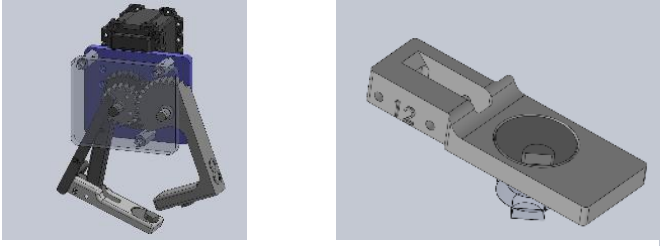


Fig.1 The proposed end-effector

4. (右手)布生地を把持
5. (右手)エンドエフェクタを移動させて布生地を展開

布生地を展開動作を行う場合の失敗例として、エンドエフェクタから布生地が抜け落ちる場合と展開動作途中で布生地に折れが発生し、その折れを解消できない場合がある。それらの問題を引き起こさないためのエンドエフェクタを製作するには以下の二点が必要な要素として挙げられる。

1. 布生地がエンドエフェクタから抜け落ちないこと
2. 展開動作中において布生地の折れを解消すること

布生地が抜け落ちる事に対する対策として、布縁を引っかけるための突起がエンドエフェクタに必要である。しかしながら、ただエンドエフェクタに突起を取り付けるだけでは、布縁の微小な凹凸を捉え続けることが出来ず滑り展開が出来ない。そこで突起物に回転軸を付与することで突起物に自由度を追加し、布縁と接触し続けやすくする。

また、布生地の折れに対する対策として、布生地との接触部分を突起以外にも布生地を挟み込むような面を持つことが考えられる。その面上において突起が布縁と接触することで、滑り動作において布生地の折れを解消して突起と布縁とを接触させることが可能である。

上記の要素を満たすために以下の方針でエンドエフェクタを製作する。

1. エンドエフェクタの指腹に布生地の縁と接触させるための突起を設置する。
2. 突起は受動回転する円盤の上に取り付け、展開動作中の布生地の動きに対応しやすくする。
3. 布生地を挟み込むことで突起と布縁との接触時に布生地の折れを解消する。

2.2 提案エンドエフェクタ

製作したエンドエフェクタを図1に示す。エンドエフェクタは二指を用いて布生地の展開動作を行い、その二指はエンドエフェクタに取り付けられたモータ1台の回転によって開閉する。二指の動きは連動することが望ましいため、指の根元において歯車を用いてモータの動力を伝達している。

また、手先の指腹部には半円形状の突起が向かい合うように二指に取り付けられている。それぞれの指の突起は、ベアリング内に取り付けられた円盤の上であり、自由に回転できるようになっている。すなわち、滑り動作を行う際に布生地と接触することで、布生地から力を受けて受動的に回転する。回転が受動的であることから、エンドエフェクタの移動方向や布生地から受ける力の軽微な変化の影響を受けずに展開動作を行う事が出来る。なお、二指を閉じる際に回転角度が一致していると、エンドエフェクタを開く際に突起物とエンドエフェクタの手先が干渉する。そのため、二段歯車を用いた増速機構とリンク機構を用いることで干渉を回避している。

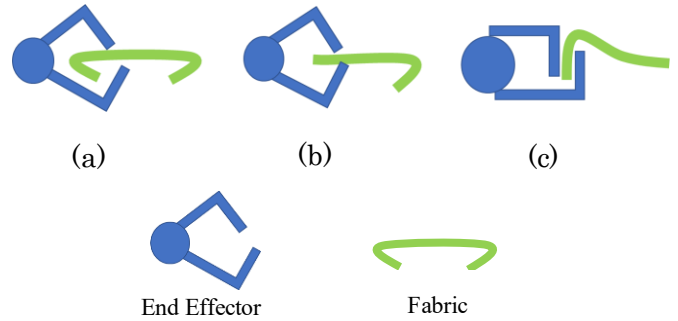


Fig.2 Bending state cancellation

布生地との接触を突起以外の部位でも可能にするために、面で挟み込める機構とした。動作途中で発生する布生地の折れは、この挟み込み機構の側面によって広げられる。また、突起は挟み込み機構の面内にあるため、動作中においても布生地は折れることなく突起と接触することが可能である。

2.3 挟み込み時の折れを広げるための事前動作

前項において布生地の折れを広げるために、挟み込み機構を搭載したエンドエフェクタを示した。しかし、この機構は動作中に布生地の折れを解消することが可能であるが、挟み込んだ時点において布生地が折れていた場合には折れを解消できない。そのため、布生地を挟み込む前に折れを解消しておく必要がある。このための動作を以下に示す(a)から(c)の順番に行う。模式図を図2に示す。

- (a) 布生地の中央付近にエンドエフェクタの先端が接触する程度にハンドを閉じる。
- (b) エンドエフェクタの先端で布縁に接触しながら移動することで布生地を広げる。
- (c) 布生地が広がったところでハンドを閉め、布生地を挟み込む。

以上のようにエンドエフェクタとロボットアームを動作させることで、布生地の折れを解消してから挟み込む。また、折れが小さい場合には図2(b)から動作を行うことと同義であるため、この場合でも布生地を挟み込むことが可能である。

3. 検証実験

3.1 実験対象

実際の布生地を用いた展開実験を行った。対象とした布生地の厚さと大きさを表1に示す。布生地の厚さは定圧厚み測定器を用いて測定した。展開動作では、図3に示すように、滑り展開を行う布生地の縁は、ヘム加工が施されている部分を対象とした。ヘム加工とは、糸のほつれを防止するために布端を折り返して縫い付ける加工法である。

3.2 実験条件

実験は、ロボットに布生地的一端をあらかじめ把持させた状態から始めた。その後エンドエフェクタを取り付けたロボットアームを動作させ、布生地の把持位置付近においてエンドエフェクタを閉じることにより、二点での把持を行う。エンドエフェクタを取り付けるロボットアームにはカワダロボティクス社のHIROを用いた。布生地を挟み込むための幅は2mmであり、突起物の高さは2mmである。突起の形状は半径3mmの半円である。ロボットアームの移動量は布生地の高さから事前に決定しておくものとする。実験の様子を図4に示す。

実験の成功判定については、展開終了時に布生地が以下の



Fig.3 Target fabric



Fig.4 Experimental unfolding motion

Table1 Fabric status

	Size[mm ²]	Thickness[mm]	Weight[g]
Fabric1	344×348	2.32	36.4
Fabric2	898×282	0.43	28.4

状態であった場合に失敗と判定した.

- エンドエフェクタから布生地が落ちている.
- エンドエフェクタが布生地の縁と接触していない.

3.3 突起の受動回転に関する実験

突起を受動回転させることの有意性を示すため、手先に突起部分を固定したエンドエフェクタと提案手法におけるエンドエフェクタで展開動作を行い比較した。各エンドエフェクタにおいて布生地を水平方向、斜め下 30 度方向、斜め上 30 度方向に移動させ展開を行った。この動作を各 10 回行った結果を表 2 に示す。

エンドエフェクタを水平方向の動かした展開では有意な差は得られなかったが、斜め方向に動かした展開では、突起が受動回転するエンドエフェクタの成功率が高い結果となった。これにより、滑り動作において突起物が回転することによってより正確に布縁をとらえることができたことが分かる。

3.4 突起の回転半径に関する実験

図 5 に突起物の平面図を示す。この回転半径 r を 3, 5, 7 mm と変更し、それぞれの条件で実験を 10 回ずつ行った。実験結果を表 3 に示す。Fabric1 においては回転半径を大きくした場合において成功率が高くなった。これは回転半径が小さい場合に回転するための力を布から得ることができず、縁にうまく沿えなかったことが原因と考えられる。逆に Fabric2 では回転半径を変更しても成功回数に差はみられなかった。Fabric2 は Fabric1 と比較して薄地で軽く、エンドエフェクタから抜け落ちる重みが小さいため、回転する力が働かなくと

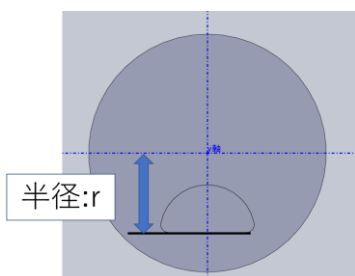


Fig.5 Radius of gyration of protrusions

Table2 Effect of passive rotation mechanism

Tensile direction	Diagonally below	Horizontal	Diagonally above
Fabric1	8/10	10/10	10/10
Fabric2	9/10	9/10	9/10

(a) With passive rotation

Tensile direction	Diagonally below	Horizontal	Diagonally above
Fabric1	5/10	10/10	6/10
Fabric2	10/10	10/10	6/10

(b) Without passive rotation

Table3 Effect of the radius of gyration

Radius of gyration	3mm	5mm	7mm
Fabric1	6/10	7/10	10/10
Fabric2	10/10	10/10	9/10

も滑り展開が出来たと考えられる。そのため、Fabric1 のように重い布生地には突起状の回転が有効であると考えられる。

4. まとめ

本稿では、布のマニピュレーションにおける基本動作である摘み滑り展開のためのエンドエフェクタを提案した。布の不要な折れを解消するための指形状および把持方法を提案した。また、摘み滑りの最中に布生地がエンドエフェクタから抜け落ちること防止するために、手先に受動回転する突起を取り付け、実機実験により効果を確認した。

今後は、より成功率を高める工夫をおこなうとともに、摘み滑りの原理を明らかにしていく。また、摘み滑り以外の布操作も可能になるように、エンドエフェクタをデザインしていく。

謝辞

本研究の一部は、本研究は JSPS 科研費および JST【ムーンショット型研究開発事業】 Grant 番号【JPMJMS2034】の補助を受けたものです。

参考文献

- [1] 柴田, 太田, 平井, 「摘み滑り動作を利用した布生地の展開動作」, 日本ロボット学会誌, 27 巻 9 号 p. 1029-1036, 2009.
- [2] H. Yuba, S. Arnold, K. Yamazaki, "Unfolding of a rectangular cloth from unarranged starting shapes by a Dual-Armed robot with a mechanism for managing recognition error and uncertainty," *Advanced Robotics*, Vol.31, Issue 10, pp. 544 – 556, 2017.
- [3] J. Maitin-Shepard, M. Cusumano-Towner, J. Lei, and P. Abbeel, "Cloth grasp point detection based on multiple-view geometric cues with application to robotic towel folding," in *Proc. Int'l Conf. on Robotics and Automation*, 2010.
- [4] Y. Kita, E. S. Neo, T. Ueshiba and N. Kita, "Clothes handling using visual recognition in cooperation with actions," 2010 2010, pp. 2710-2715, doi: 10.1109/IROS.2010.5651222.