

すくい取り機構および蛇腹折り軌道生成による 長尺布部品の持ち上げと運搬

Lifting and Carrying of Long Fabric Parts by an End-effector with Scooping Mechanism and Zigzag Folding Trajectory Generation

○学 朱昱哲 (信州大) 正 山崎 公俊 (信州大)

ZHU YUZHE, Shinshu University, 22w4802c@shinshu-u.ac.jp
Kimitoshi YAMAZAKI, Shinshu University

In this study, we propose a novel end-effector for picking and sorting operations of various fabric parts placed on a cutting machine in sewing factories. We also propose a method for grasping a whole body of the fabric parts by folding back and forth a long fabric into a smaller size, which facilitates packing and sorting of each part of the fabric and reduces the requirement for the height movement range of the robot.

Key Words: Robot hand, fabric parts, zigzag folding

1. 緒言

肌着やポロシャツを製造する工程では、所定の形状に裁断された薄手の布生地が作業対象となる。そのような布生地は柔軟性が高く容易に変形し、適切に掴ま上げるのに一定のコツを要するため、作業の自動化は未だに難しく基本的に人手でおこなわれている。もしこの作業を自動化できれば、縫製作業全体の自動化率を向上できると考えられる。それにより、労働力不足への対応策として大きな効果が見込まれる。

本研究の目的は、肌着やポロシャツなどの布製品によく用いられる布部品のうち、薄手で大きな布生地を対象として、それらの布部品を縫製作業者へ提供する作業を自動化することである。特に、裁断機によって裁断された布生地を一つずつピックアップし、積み重ねて置く作業に着目する。本稿では、これを実現するためのエンドエフェクタを提案する。

筆者らはこれまでも、積み重ねられた綿布から一番上の一枚を取り出したり、布ゴムをつまみ把持により持ち運べるエンドエフェクタを開発してきた[1, 2]。毛のついたブラシを綿布のフチに押しつけ回転させることで綿布を巻き取る方式を考案し、その有効性を確認した。本研究はその後継である。先行研究では小型の布部品しか対象にしていなかったが、実際には単なる巻き取りだけでは持ち上げきれない大きさの布部品も存在する。その一つは、図1に示すような長尺の布生地である。そこで本研究では、人の拳程度の小型サイズを維持しつつ、綿布巻き取りと掏い上げ機能を組み合わせた新たなエンドエフェクタを構築する。さらに、そのエンドエフェクタの特性とマニピュレータとの動きを組み合わせ、図1右に示すように布生地を蛇腹折りにすることで完全に持ち上げて運搬できるようにする。これは、高さの可動範囲が小さなロボットでも利用できる方法であり、あるテーブルから別のテーブルへ布部品を運搬する目的などに有用である。

本研究の貢献は次のとおりである。

- 薄く長尺な布部品を蛇腹折りにして運搬する方式を考案し、これを実現するための小型の機構を考案した。
- 蛇腹折りを適切におこなうための定式化をおこない、ハンドの軌道生成に活用した。
- 実際に製作したエンドエフェクタを用いて長尺な布生地のピックアップを実現し、有効性を確認した。

2. 課題とアプローチ

2.1 課題

対象とする布部品は、ポロシャツ、ゲームシャツ、肌着

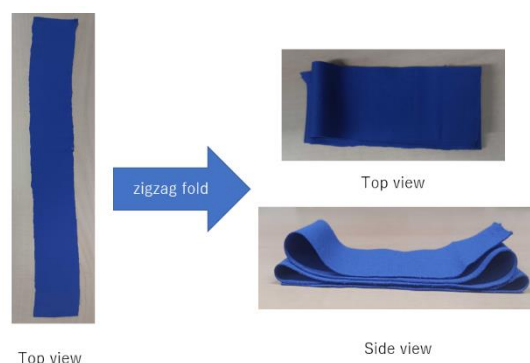


Fig. 1. Picking up a thin and long fabric sheet.

等の製造に使用される布地であるとする。これらは綿やポリエステルなどいくつかの素材からなり、総じて薄くて軽いという性質がある。着目する作業は、裁断機により裁断された布部品をピックアップして所定の場所へ重ねていく作業である。特に筆者らは、多品種少量生産の場であることを想定する。図2に具体的な流れを示す。ここでは、ある布製品を製造するのに必要な布部品を裁断によって製作したのち、それらの布部品を製品ごとにまとめる。それを束ねて縫製作業者のところへ運搬し、縫製を進めていく。すなわち、様々な大きさおよび形状の布部品を一か所にまとめる必要があるため、自動化するときのピックアンドプレース作業では布部品ごとに異なる動きが求められる。大きな布部品でも引きずらずに運ぶことが望ましい。

以上の想定から、研究課題は以下のとおり整理できる。

1. 裁断テーブルの上に布部品のフチが布生地と密接している状況下でも、様々な大きさおよびサイズの布部品をピックアップできる必要がある。
2. 布部品をピックアップするとき、長尺であったり大きな布部品であっても保持を失敗しにくい構造であることが求められる。
3. 長尺な布部品や大きな布部品を引きずることなく運搬できること。ただし、そのためにロボットアームに高さ方向の大きな可動範囲を要求しないこと。

このほかにも、なるべく軽く小さなエンドエフェクタとすること、初期導入コストおよび運用コストを小さく済ませることなどを可能な範囲で考慮する。

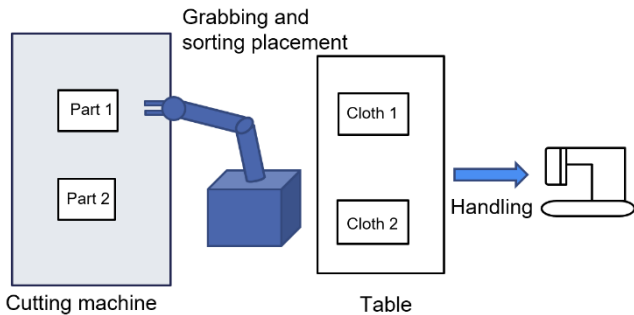


Fig. 2. Fabrication process for small-lot, high-variety production sites

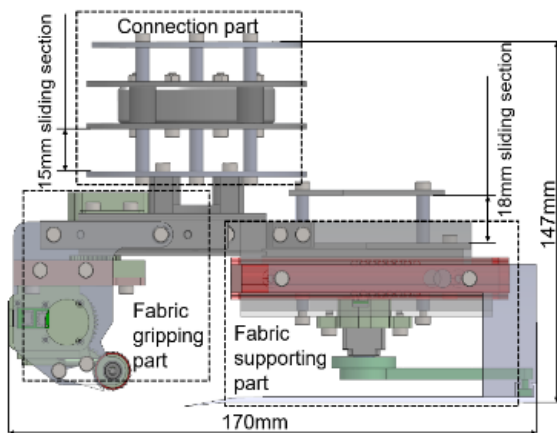


Fig. 3. The proposed end-effector

2.2 アプローチ

前節で示した課題に対し、本研究では次のとおり対応する。なお、下記の番号1～3は前節の番号に対応している。

1. 文献[1]で用いられた巻き取り式を用いて、布部品のフチにピンポイントで接触してピックアップする方式を採用する。これにより、目的の布部品と周囲の布生地との距離が非常に小さな場合でも、目的の布部品のみを持ち上げることができる。
2. エンドエフェクタには水平方向に可動できる板を取り付ける。そして、巻き取りによって布部品の端部を持ち上げたのち、その下に板を滑り込ませることで、大きな面積で布部品と接触可能にする。
3. 板で布部品を掬う動作とエンドエフェクタの動きを組み合わせ、布部品をその場で蛇腹折りにする。その後、折り畳まれた布部品全体を板で掬い上げることで、引きずらずに運搬することを可能にする。

次章より具体的なエンドエフェクタの構造と動作戦略について説明する。

3. 提案エンドエフェクタ

3.1 機構の概要

図3は提案するエンドエフェクタの構成である。主に3つの部位で構成される。左下は布部品のフチを持ち上げるための部位である。上部はリニアブッシュを組み入れたフリースライド機構であり、この上端がロボットアームと連結される。この機構により、毎回同じ力（エンドエフェクタの質量 257g）でブラシを布部品に接触させることができる。一方で右下の

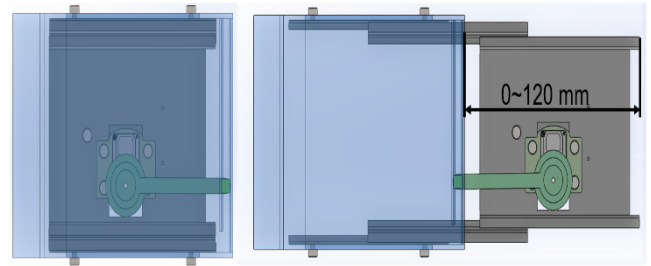


Fig. 4. The motion of the expanding flat board

平板は、ブラシによって巻き取った布部品を下から保持する役割を担う。上部と同様にフリースライド機構で滑らかに上下する。以降の節では、左下と右下の部位についてそれぞれ説明する。

3.2 円筒ブラシによる巻き取り[1]

図3左下の下端には、半径7mmのモーター駆動の円筒形ローラーが取り付けられている。円筒の表面には、衣服について埃を取り除く目的でよく使われるリムーバークロスが貼り付けられている。その表面には長さ1~3mm、直径0.1mm以下、傾き1~5°のポリオレフィン繊維毛が密に並んでいる。この円筒部を布部品のフチに接触させたのち、綿布の上で転がすように動かすことで、円筒の表面に布部品を徐々に付着させる。

なお、文献[2]では二つのブラシが向かい合わせに設置され、それらを布ゴムのつまみ把持のために使用していた。一方で、本研究ではこの部位の主目的はフチの巻き上げであり、布部品の持ち上げについては、もう一方の指部にあたるスライド式平板の役割とする。

3.3 平板を用いた掬い上げ

筆者らは文献[3]の回転軸を回転してパッドの伸縮を制御する方法と、文献[4]の平板を布の下に挿入して把持する方法を参考して、図3右下の平板という布を差し込み支持できる機構を提案する。平板には主に二つの役割がある。(1)布部品の搬送時に布地が落ちないように布部品を下から支える役割と、(2)大きすぎて掴みきれない布部品を折り返して小さくする役割である。後者については次節で詳しく述べる。

(1)では、円筒ブラシが生地の端を少し持ち上げたところで平板を布部品の下に挿入する。図4は平板の動作機構を示している。棒の回転を平行移動に変換しており、半径60mmの回転を利用して平板を0~120mmの範囲で動かす。

布部品の下に平板を挿入するためには、平板が円筒部よりも低い位置になければならない。一方で、布部品のフチを巻き取る時、円筒部が布部品に接触することを平板が阻害してはならない。この問題を解決するために、平板とホルダーを3本のシャフトを介してリニアブッシュで接続し、平板が受動的に上下に動くようにする。また、平板が布部品の下でスムーズに出し入れできるように板の前縁を5°傾ける。

4. 蛇腹折り戦略

4.1 蛇腹折りの効果

前章で紹介したエンドエフェクタは、広い接触面積で生地と接触できるため、巻き取りから持ち上げまでを安定しておこなうことができる。しかし、それでも持ち上げきれない大きさの布部品であった場合は、一端を引きずるように運搬することになってしまう。そこで、エンドエフェクタの特性とマニピュレータとの動きを組み合わせ、図5に示すように布生地を蛇腹折りにし、最後に布部品全体を掬い取る方針を採用。こうすると、蛇腹折りを n 回行った後に布部品の横幅を $1/(2n+1)$ にすることが期待でき、エンドエフェクタ内に布

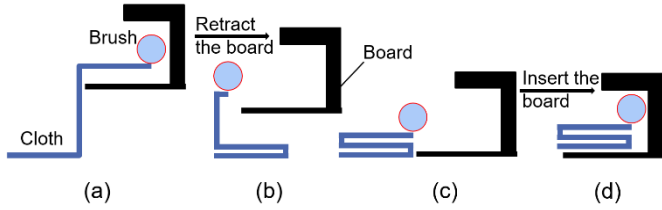


Fig. 5. The motion of the last zigzag folding.

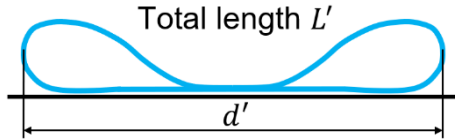


Fig. 6. The actual folded fabric shape.

部品を納めることが可能になる。

4.2 蛇腹折りの軌道生成

実際に布部品を蛇腹折りにすると、図 6 に示すように折り返しの部位に乗型の隙間ができる[5]。よって、布部品を折り重ねていくときには、この隙間を考慮して手先軌道を生成する必要がある。本研究では、直線軌道の組み合わせによって複数回の等幅な折り重ねを実現する方法を提案する。

折り重ねられた布部品の幅を d' とし、 n 回の折り重ねに必要な実際の布の全長を L' とする。そして、1 回の折り重ねにおいて理想と現実それぞれで必要とされる布部品の長さの差を ϵ とすると、 ϵ は $(L' - 2nd')/n$ と導出できる。

図 7 の赤線は提案する手先軌道を示している。点 $O_0 \sim O_4$ を順番に直線で結んだものである。ここで、 r を円筒ブラシの半径、 a を平板の前端と円筒ブラシ最右端の点 O との間の水平距離、 b を平板の表面から点 O までの高さとする。 e を重なり部分の長さ、 c を残る部分の長さ、 L は布部品の全長とする ($L = L' + c$)。以上の変数を用いると、蛇腹折りの始点 O_0 の Y 座標および Z 座標は以下の式で求められる。

$$O_0: (L - \pi r - c - e - a, L - c - e - \frac{\epsilon}{2} - a + b)$$

また、折り重ねの回数が n であるとき、手先を直線移動させる回数は $2n$ と導出できる。そして、第 i 回目の移動時の目標座標は次の式で求めることができる。ただし、 i は 0 から $2n - 2$ の値をとる。

$$O_{iy} = L - \pi r - c - a - \left| \cos\left(\frac{i\pi}{2}\right) e \right| + \left| \sin\left(\frac{i\pi}{2}\right) \frac{\epsilon}{2} \right|$$

$$O_{iz} = L - c - a + b - (i + 1) \left(e + \frac{\epsilon}{2} \right)$$

そして、最後の 2 点の座標 (昇順に $2n - 1$ 番目、 $2n$ 番目とする) については、布の下に平板を差し込んで布全体をすくいあげるため、前に伸ばしていた板を縮める必要がある。それを考慮し、以下の式を用いて座標を求める。

$$O_{2n-1}: (L - \pi r - c + \frac{\epsilon}{2}, e + \frac{\epsilon}{2} + r + nh)$$

$$O_{2n}: (L - \pi r - c - e, r + nh)$$

5. 検証実験

エンドエフェクタを Dobot 社の Dobot M1 に取り付けた。実際の布部品を用いた検証実験をおこなった。使用した布部品は、スポーツウェア系、インナー系、ポロシャツ系の 3 種類の

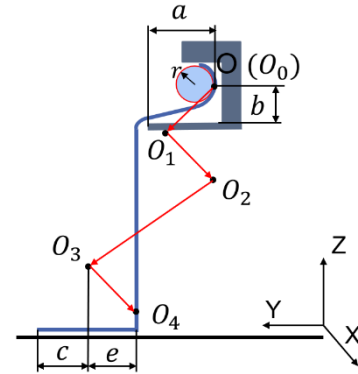


Fig. 7. The motion trajectory of using twice zigzag folding.

Table 1. Experiments for verification

Type	Sportswear	Underwear	Polo Shirt
Success rate	93%	95%	90%
Failure rate	7%	5%	10%
Total success rate	92.7%		

生地それぞれサイズは 3 種類 (400x50mm, 450x50mm, 500x50mm) 用意した。誤差 ϵ は事前に測定し 6mm, 4mm, 10mm と設定した。実験では、テーブル上に木材を水平に敷き、布部品をその上に置いた。ロボットには、その布部品をピックアップし、右の木材の上に置くことを指示した。折り畳み結果を評価するために以下の式で重なり率 [%] を定義し、これが 95% 以上であれば成功とした。

$$\delta = \left(1 - \frac{l_c}{l'}\right) \times 100\%$$

ここで、 l_c は重なり部分を超えるかそれ以下の全長、 l' は重なり部分の全長である。

各布部品について 50 回ずつ実験を行った。成功率は 92.7% であった。表 1 に各生地重なり率の結果を示す。

6. まとめ

本稿では、薄く長尺な布部品を蛇腹折りにして運搬するためのエンドエフェクタおよび軌道生成法を提案した。実機実験をおこない、重なり率が 95% 以上の 92.7% の成功率の結果を得た。今後は、点から点への単純な直線運動だけではなく、連続的な軌道も検討する。また、様々な材質や形の布部品で評価をおこなう。

謝辞

本研究の一部は科研費および NEDO の補助を受けて行われた。

参考文献

- [1] Y. Kawasaki, K. Yamazaki, (2020). Winding-Based End-Effector for Feeding Cotton Cloth to Sewing Machine.
- [2] K. Yamazaki, T. Abe, (2021). A Versatile End-Effector for Pick-and-Release of Fabric Parts. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 6, 1431-1438.
- [3] Sun, B., & Zhang, X. (2019). A New Electrostatic Gripper for Flexible Handling of Fabrics in Automated Garment Manufacturing. *2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 879-884.
- [4] Denei, Simone et al. "On the development of a tactile sensor for fabric manipulation and classification for industrial applications." *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (2015): 5081-5086.
- [5] Plaut, Raymond H. "Formulas to determine fabric bending rigidity from simple tests." *Textile Research Journal* 85 (2015): 884 - 894.