

ウェットフォールディング機能をもつロボットハンドの開発

Robotic Hand with Wet Folding Function

○学 小澤優生 (金沢大) 正 西村齊寛 (金沢大) 正 渡辺哲陽 (金沢大)

Yuki OZAWA, Kanazawa University, samosan314@stu.kanazawa-u.ac.jp
Toshihiro NISHIMURA, Kanazawa University
Tetsuyou WATANABE, Kanazawa University

Manipulation of flexible materials in wet conditions is one of the most difficult tasks in daily life and in factory automation. The technique of origami, in which water is applied to a flexible material such as paper or cloth to reduce unwanted wrinkles and create neat folds, is called wet folding. With this in mind, this study presents a robotic hand with wet folding function. For the purpose, the gripper has not only conventional antipodal grasping function but also the functions of pinching by nails, rolling, and water supply. The efficacy of the developed system is validated through several experiences.

Key words: Robot, Wet-folding, Manipulation, Flexible objects

1. はじめに

1.1. 緒言

日常生活では、紙や布等のしわを取り除いて整頓するなど、濡らすことによって繊維間の絡み合いや結びつきを弱め、柔軟物を整形する場面が数多くある。しかし、一方で軽く薄い折り紙などの柔軟物を谷折りする動作をロボットハンド一つで行うことは困難であり、ほとんどの場合二本以上のアームとハンドを用いて、柔軟物を折る動作を実現している。柔軟物が折りにくい原因として、その軽さと薄さが挙げられる。仮に把持に成功したとしても、ハンドの移動に引き連れて軽重量の柔軟物が床を滑ってしまうため、折ることができない。あらかじめ対象を固定しておく方法や、二本のハンドを用いて押さえる方法で、このスリップ問題の解決を図っているが、対象が固定されている限定的な状況下であることや、複数のアクチュエータを用いたことによるマニピュレーションの複雑化が問題になっている。ワークの厚薄や乾潤を問わず、単純なマニピュレーションで安定して把持できるハンドの導入は、一般家庭の家事自動化や、工場での生産効率の向上に貢献する。また、能動的に濡らすことによってワークの物性を変え、物体整形を容易にする操作は、未開拓の試みである。従来のロボットハンドはハンドの機構そのものに着目し、工夫することによってワークの把持を実現していたが、本研究では対象となるワークの物性を変えることに注目した。折り紙の手法の一つに、紙や布といった柔軟物に水を塗布、不要なしわを減らして乾かすことによって折り目を綺麗に仕上げるウェットフォールディング(wet-folding)という手法が存在する。この手法を参考に現状の課題を解決できるハンドを開発することで、把持操作の幅を広げ、より広い産業分野で作業の自動化を目指す。

1.2. 先行研究

これまで、様々な柔軟物を扱うロボットハンドが開発されている[1]-[9]。本研究同様、湿潤状態のワークを把持する機構を有するハンドも存在する。Utsumiらは、単腕アームでロボットハンドを操り道具を用いた衣類操作を実現した[1]。Hataらは複数のアクチュエータを用いて自在に出入り可能な爪を操り、薄いワークを把持するハンドを開発した[2]。これらのロボットハンドは、複数のアクチュエータとロボットハンド以外の道具を用いてワークを床などの周囲環境に固定し、操作することに成功している。これらと関連して、家庭用サービスロボットによる柔軟物体ハンドリングに関する研究も盛んである[3]-[6]。二本以上のロボットアームを利用し、画像処理

による新しい動作生成手法の確立に関する研究も多く行われている。また、布だけでなく、本研究のように折り紙を任意の形に整形する研究も存在する。Balkcomらは、世界で初めて折り紙を一度谷折りすることができるロボットを開発した。これはロボット単体ではなく、周囲の環境とその他の道具を用いて人間の折る動作を模倣している。Yokokohjiらは、人間の直接教示で目標軌道を学習させた二つのハンドを用いて、折り紙でオタマジャクシやカエルを折り上げることに成功した[8],[9]。以上のように、先行研究で柔軟物を扱っているロボットハンドは、多くのアクチュエータやハンド以外の道具を用いて、薄い柔軟物の把持操作を実現しているため、複雑なマニピュレーションを要求される。本研究は従来の研究から発展し、少ないアクチュエータと単純なマニピュレーション、さらにハンド単体での柔軟物操作を目的としている。先行研究を踏まえ、様々なワークを把持可能な汎用性を持ち、対象の乾潤状態の制御ならびに湿潤状態の柔軟物操作が可能なロボットハンドを提案する。

2. 設計

2.1. 機能要件

本研究で開発するハンドの機能要件を以下に示す。

- (1) アクチュエータ数は1つ
- (2) 柔軟物を含む様々なワークを把持できる。
- (3) 柔軟物を湿潤状態にできる
- (4) ハンドは湿潤状態の柔軟物をめくる・把持することができる
- (5) 濡れた柔軟物の皺制御(つくる・なくす)ができる

2.2. 開閉機構

本研究で開発したロボットハンドのCADモデルをFig.1に示す。本ハンドは2本の指でワークを把持する。左右の指はリニアガイドに固定され、サーボモータ(Dynamixel XM430-W210-R)によって駆動する両端ねじにより開閉動作を行う。本ハンドはサーボモータを1つしか使用しないため、複雑な制御を必要としない。ねじ本体はサーボモータの駆動軸に直接固定され、駆動軸の回転に伴って両端ねじが回ることで指を開閉している。本ハンドの部品は3Dプリンタ(Markforged MarkTwo, Raise3Dpro2)を使用し、ONYXと呼ばれる炭素繊維で強化されたナイロンと、純PLAを材料に作成した。

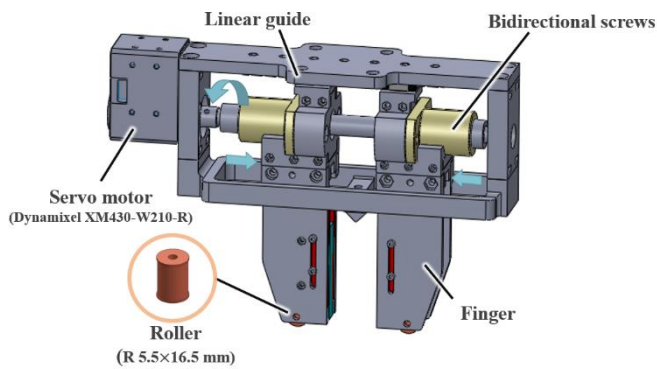


Fig.1 Illustration of the structure of developed hand

2.3. 指の機構

図2に示すように、本ハンドは爪が収納された状態と、爪が外部に出ている状態がハンドの開閉によって切り替わる機構を有する(以下、爪機構)。指の構造は爪、ガイド指、ローラ、シリコンシート、引張バネ、スライドピン(M2 ボルト)、チューブ(Fig.3)から成る。スライド指上部には引張バネが取り付けられており、常にスライド指には鉛直上向きの力がかかっている。これにより、爪はハンドが開状態(Fig.3(a))のときは、常に内部に格納される。ハンドが閉状態(Fig.3(b))の場合は、中央に設置された傾斜 45°のブロックが指の開き幅 18mm のときに、爪機構に接触し、閉じる動きと連動して爪がガイド指に沿って滑らかにスライドする。この動きにより、指内部にあった爪が外部に出る。ガイド指側面に開けられた穴と、爪側面に埋め込んだ M2 ボルトがストッパの役割を果たしているため、爪は定めた量以上外部に出ないようにになっている。閉状態からハンドを開状態に戻すと、爪は引張バネに引かれて再び指内部の初期位置に戻る。Fig.4に示すように爪は二重構造になっており、先端を床に押し付けることで指内部方向にスライドする。この動きによって押し潰されていたチューブが開放状態(Fig.4)となり、チューブの繋がれた爪上部の穴から水が流れだす仕組みになっている。指先には爪だけでなくローラも設置され(Fig.1)、水平面では滑らかに動作する。ローラは外部に出た状態の爪とは接触せず、柔軟物の把持動作の際にも影響が出ないように、ガイド指先端から 3mm の場所をローラを中心に定め、配置した。なお、指のワークが接触する面にはシリコンシート(Smooth-On Dragon skin 30 厚さ 1mm, 幅 9.7mm, 長さ 30mm)を接着した。これにより、対象ワークの安定した把持を実現している。爪、ガイド指、ローラは剛性が必要のため ONYX を用いて作成し、45°のブロックのみ純 PLA を材料に作成した。

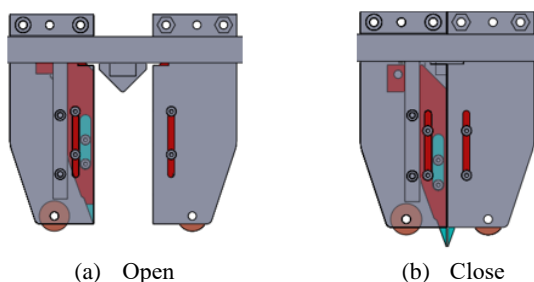


Fig.2 nail mechanism

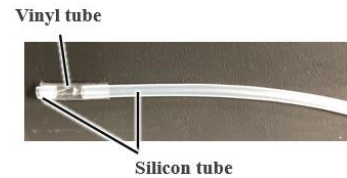


Fig.3 The appearance of the tube

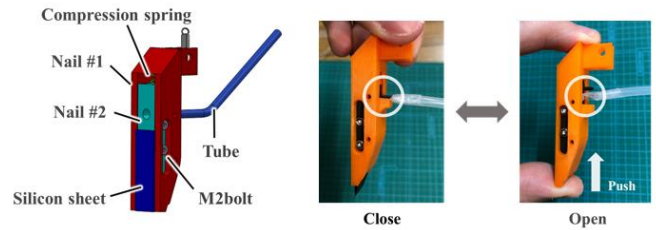


Fig.4 Illustration of the structure of nail

3. 実験

開発したハンドが機能要件を満たしているか評価するために 2 種類の実験を行った。

3.1. 把持実験

開発したハンドを XYZ 軸方向に自由に移動可能な自動ステージに取り付け、水平面に平積み状態の数種類のワークを対象に把持実験を行った。三軸ステージとサーボモータの操作は PC を介して手動で行う。把持したワークをテーブルの上に落とすことなく持ち上げられた場合を成功とし、ワークごとに 10 回ずつ把持を試行した。実験の様子を Fig.5 に示す。柔軟物、異形ワークともに安定して把持することに成功した。

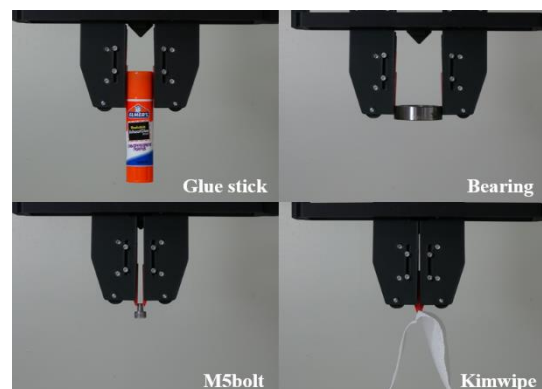


Fig.5 Representative results of the grasping tests

3.2. ウェットフォールディング実験

本実験では、ハンドのウェットフォールディング機能を検証した。以下の(1)~(4)の手順に従って、濡れた正方形の紙を正三角形に折る作業を 10 回繰り返した。

- (1) 水平面に置いた正方形の紙(210×210 mm)を濡らす
- (2) 正方形の角部を把持
- (3) 三角形になるように谷折り
- (4) ローラを用いて折り目をつける

手順(1)から(3)までを折る動作、手順(4)を折り目をつける動作と定義し、実験を行って成功率を算出する。

3.2.1. 折る

手順(1)から(3)までの動作イメージを Fig.6 に示す。濡れて水平面に張り付いた紙を、爪機構を利用してめくり上げ、角部を把持してから対角線上にハンドを操作して三角形に折り上げる。この際、①狙った場所を濡らすことができているか、②濡れた紙を把持できているか、③正方形に整形できているか

を動作可否の判断材料とし、機構が正しく動作しているかを確認した。実際の様子を Fig.7 に示す。折り目の部分を濡らした後紙の四隅を把持し、三角形に整形することに成功した。

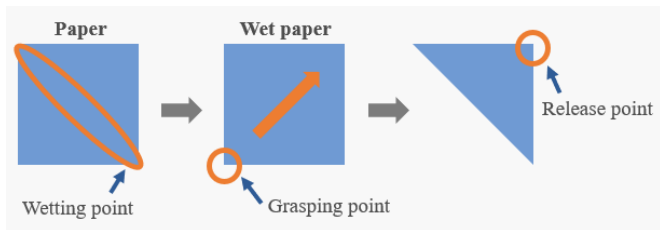


Fig.6 The process of wet folding (1)~(3)

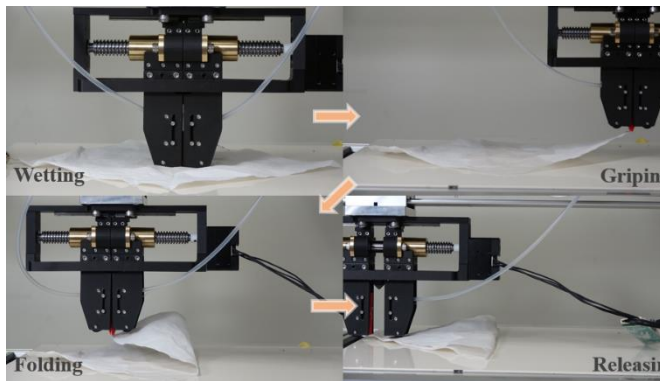


Fig.7 Experimental results of wet folding (1)~(3)

3.2.2. 折り目をつける

三角形に整形後、ローラを用いて圧力をかけ、折り目をつける。Fig.8 のように、三角形に折った湿潤状態の紙の折り目部分にローラを押し付け、左右に滑らせる動作を繰り返した。この時、ハンドは開状態(Fig.3(a))にあり、爪機構は内部に格納されているものとする。10 回の試行の結果、ローラを平均 2 往復かけることで紙のしわを無くし、折り目をつけることに成功した。本実験の結果は、本ハンドが湿潤状態の柔軟物に折り目をつけることが可能であることを示している。

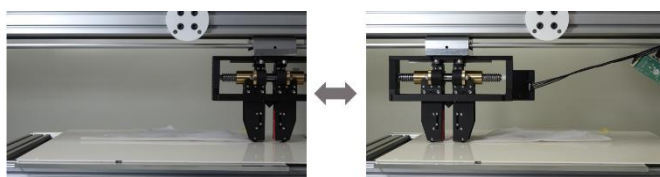


Fig.8 Experimental result of wet folding (4)

上記 2 種類の実験より、本ハンドは機能要件すべてを満たしていることを確認できた。

4. 結言

本研究では、ウェットフォールディング可能な、汎用性の高いロボットハンドを提案した。爪機構とローラを備えた本研究のロボットハンドは濡れた薄いワークを爪やローラで手繰り寄せてから把持することによって、安定した把持を実現した。2つの実験による評価により、このハンドが機能要件を満たしていることが実証された。

参考文献

[1] Y. Utsumi, K. Yamato, T. Hara, K. Bandou, and M. Hara, "Spreading and Folding Tasks of Clothes by a Single Arm Robot using Tools," 精密工学会春季大会, 2005

[2] S. Hata and H. Hojo, "Development of Handling System for Randomly Piled Washing Clothes," 日本ロボット学会誌, 2009, 27 巻 10 号, p1093-1096

[3] M. Kaneko, Kakikura, and Masayoshi, "Study on Handling Flexible Object for Housekeeping Robot" ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2002, p32

[4] 新井 美幸, 金森 哉吏, "洗濯物のハンドリングロボットに関する研究." 精密工学会春季大会, 2012

[5] F. Osawa, H. Seki, and Y. Kamiya, "Laundering Tasks Performed by a Robot Spreading Out and Sorting of the Clothes." 精密工学会誌論文集, 2004, 70 巻 10 号, p1316-1321

[6] S. Hata, H. Hojo, T. Hamada, "Development of Washing Cloth Handling Robot System." 精密工学会秋季大会, 2009

[7] D. J. Balkcom and M. T. Mason, "Introducing robotic origami folding." IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA, 04.2004

[8] K. Tanaka, Y. Kihara, and Y. Yokokohji, "Desired Trajectory and Sensory Feedback Control Law Synthesis for an Origami-Folding Robot based on the Statistical Feature of Direct Teaching by a Human," 日本ロボット学会誌, 2009, 27 巻 6 号, p685-695

[9] Y. Yokokohji, "A Robot That Can Fold Origami Works," 日本ロボット学会誌, 2013, 31 巻 4 号, p334-340

謝辞

本研究の一部は、MEXT/JSPS 科研費 Grant 番号【JP21H01286】【JP21K19790】の支援を受けたものです。