

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16072

研究課題名(和文) アクティブセンシングに基づくロボットによる高度な紙操作に関する研究

研究課題名(英文) Study of skillful paper manipulation by robots based on active sensing technology

研究代表者

工藤 俊亮 (Kudoh, Shunsuke)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：90582338

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ロボットによる高度な紙の操作を実現することを目指した。具体的な課題として、紙操作の記述手法の開発、紙の状態をセンシングする技術、および紙を適切に扱うためのロボットハンドの開発を行った。記述手法の開発では、従来研究で提案した折り紙公理に基づき折り操作を記述する手法を拡張し、高度な紙操作に対応可能にした。センシングについては、紙に力を加えるなどしながら能動的に紙の状態を取得するアクティブセンシング技術を開発した。同時に、高度な紙作業に適したロボットハンドを開発した。これらの技術を総合することにより、最終的に袋折りや中割り折りといった高度な紙折り作業に成功した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was skillful paper manipulation by a robot hand. Main subjects in this study were developing a description method of paper folding tasks, a sensing method for a state of paper, and a robot hand suitable for skillful paper manipulation. First, we developed a description method for paper folding tasks by extending our previous method, in which a folding action was described using Origami axioms, which is a mathematical theory to determine a fold. Next, we developed sensing methods. While sensing paper is generally a challenging problem, we proposed active sensing methods where a robot actively examined a state of paper by, for example, adding force to the paper. And then, we examined necessary functions for the active sensing methods, and developed a robot hand suitable for skillful paper manipulation. Finally, we integrated the above methods and achieved skillful paper manipulation, such as a squash fold, by a robot.

研究分野：ロボット工学

キーワード：柔軟物マニピュレーション

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年のロボット技術の進歩により、従来の工場内におけるロボットの利用だけでなく、日常生活空間の中でのロボットによる生活支援に対する期待が高まっている。工場内の環境と比べた場合、日常生活空間でのロボット利用の難しさの一つとして作業対象の多様さがあり、特に多様な柔軟物の取り扱いは困難な問題である。

(2) 本研究では柔軟物のなかでも特に紙の操りに焦点を合てる。紙は日常生活でも広く用いられる素材であるが、包装を行う機械などの専用機械はあるものの、より一般的に紙の扱いを可能にしたロボット技術はいまだ実現していない。

(3) 研究代表者はこれまでも紙の操作に関する研究を行っており、折り紙公理に基づいた双腕ロボットによる谷折りを実現しているが、日常生活における紙操作としては不十分である。例えば封筒に便箋を入れるというありふれた作業を考えても、複数枚重なった紙を折る、2枚重なった紙の間に指を入れ隙間を作る(封筒の口を開ける)、開いた封筒の口に折りたたまれた便箋を差し込む、封筒の蓋を折り曲げ閉じるなどの操作が必要となる。この中で1枚の紙に対する谷折り操作によって対応可能なのは最後の蓋を折り曲げる部分のみである。

(4) したがって、紙操作に関して日常生活空間でロボットが活躍するためには、谷折りに比べてより高度な折り操作ができるということは必須の課題といえる。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、ロボットによる柔軟物操作の研究の一環として、高度な紙の操作を実現することを目指す。このような高度な紙操作を実現するためには、紙の状態や操作を適切に表現可能な記述手法の開発、紙の状態を適切にセンシングする技術および紙を適切に扱うためのロボットハンドとそれを用いた基本的な動作要素の開発が必要となる。

(2) 作業記述の面においてはこれまでの折り紙公理に基づく手法を基礎として、それを拡張する形でより複雑な紙操作を実現する手法を構築することを目指す。また、この記述手法を用いて、コンピュータ内で折り操作を再現可能な折り操作シミュレーターの開発も行う。

(3) 紙は薄く、重なったり折られたりしている場合も多く、カメラや距離センサを用いて正確に形状をセンシングすることが困難で

ある。そこで本研究では、ロボットが紙を動かしたり力を加えたりすることによって能動的に紙の状態をセンシングする「紙操作のためのアクティブセンシング技術」を開発し、より正確な紙の状態を取得することを目指す。

(4) 紙に対して適切な働きかけを行うための機構および得られた紙の状態に応じて適切な折り操作を行うための機構についてその要件を整理し、それらを満たすロボットハンドを開発する。また、開発したハンドを用いた紙操作のための要素となる基本動作の設計と実装を行う。

(5) 上記手法を設計するときの具体的な目標として、折り紙における基本操作である袋折りなどの実現を目指す。目標設定として折り紙を取り上げたのは、典型的な操作が整理され名前が付けられているため、本研究のように一般的な紙操作を対象とする研究の目標設定としてふさわしいと考えられるからである。

3. 研究の方法

(1) まず、高度な折り作業の実現に必要な、作業記述手法を開発する。従来研究で提案してきた折り紙公理を用いた記述手法を基本とするが、高度な紙操作に必要な情報を適切に表現できるように拡張する。

(2) 視覚に関する要素技術の開発を行う。特に、人間の折り作業を上記手法により記述しようとしたときに必要な認識技術の開発を行う。これを用いて、人間の行った作業を認識してロボットのための記述として表現可能な折り紙シミュレーションシステムを構築する。

(3) 紙操作のためのアクティブセンシング技術を開発する。RGB画像、距離画像、触覚、力覚などを多様なセンサにより取得し、それぞれのモダリティによりどのような情報が取得可能かを精度評価を含めて検討する。さらに、それらの情報がどのような条件下でより精度良く得られるかの検討も行う。同時に、高度な紙操作を実現するために必要な紙の状態に関する情報がどのようなものであるかの整理を行う。これらを合わせて、必要なアクティブセンシング技術を開発する。

(4) 上記手法を可能にするためにハンドに求められる要件を整理し、それを満たすハンドを開発する。同時に、必要な動作要素の実装も行う。

(5) 上記の結果をすべて統合することにより、目標として設定した高度な紙作業を実現

する。

4. 研究成果

(1) 高度な紙折り作業を行うための、紙の状態とそこへ施す操作を適切に記述する方法を構築した。これまでに筆者らが提案していた折り紙公理に基づく記述方法を見直し、従来対応していなかった視覚フィードバックを利用しやすい記述へと拡張した。具体的な拡張部分は、紙上に座標系を設定する方法をきちんと定義したこと、および操作前後で保持されるべき点や線の情報を詳細に検討して折り紙状態構造体と折り紙操作構造体の二つのデータ構造を定義したことである。

(2) 光源変化による折り線および辺の検出手法を開発した。紙折り作業を認識するときに、適切に折り線や辺を認識することが必要となる。認識したい線の両側で色が違う場合（紙の表と裏など）、色情報を利用することで線の認識が可能である。しかし認識したい線の両側が同じ色の場合、画像として線を認識しづらいことが多い。この場合のために、アクティブセンシング手法の一つとして開発したのが本手法である。光源を作業台の周囲に4個配置し、順に用いて折り紙の画像を取得し、得られた画像の陰影情報を統合することによって、単一の画像からでは認識しづらい折り線を精度よく認識することが可能になった。

(3) 人間の折り紙作業を認識し、上記の記述方法により作業を記録するシミュレーションシステムを構築した。ここではカメラ画像を入力として用い、折り操作前後の画像からどのような折り操作が行われたのかを推定できるようにした。折り紙公理に基づく作業記述が本手法の特徴でもあるため、たんに折り線の位置を推定するのではなく、「どの点をどの線に重ねるように折った」というような、適用公理やそのパラメタまで推定できるようにした。

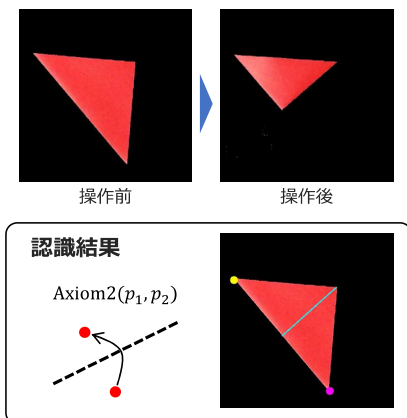


図1 折り操作の認識結果

(4) 高度の折り作業の実現に適したロボットハンドを開発した。以下に述べる新たな折り手法を実現するために必要な機能を実装するという形で、従来のハンドに徐々に改良を加える形で最終的に高度な折り作業の実現に適したハンドが実現した。図2は、最終的に袋折り作業に用いたロボットハンド（操作ハンドと補助ハンド）である。

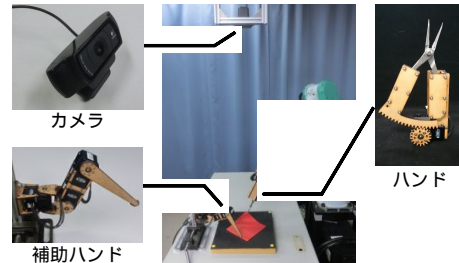


図2 開発したロボットハンド

(5) 視覚フィードバックを用いながら徐々に二つの頂点位置を合わせる「位置合わせ」の手法を開発した。これによって、頂点どうしの重ね合わせで記述される公理2に基づく折り作業を精度よく実行することが可能になった。特に、本手法を用いることにより谷折り操作の精度が向上した。谷折りは従来研究で実現していた折り方であるが、新しいデータ構造と視覚フィードバックにより、従来よりも格段に精度のよい谷折りが実現した。

(6) 折り紙をずらすことによって紙と紙の隙間を広げる「ずらし動作」の手法を開発した。例えば袋折りで袋を開く操作をするときに、2枚の重なった紙の間に指を挿入する操作はしばしば用いられる操作である。しかし紙の隙間の位置を正確にセンシングし、そこに正確に指を移動するのは一般にはひじょうに難しい作業といえる。本手法により紙をずらして隙間を広げる動作によって、効果的に位置を認識して指を挿入することが可能になった。

(7) あらかじめ紙にクセをつけてそのあとの操作を実行しやすくするための「クセづけ」を開発した。紙の操作においては、折りそのものは単純であっても、紙の座屈等の予測不能な紙のふるまいにより操作が成功しない場合がしばしば起こりうる。クセづけによって紙の変化する方向を強制的に決めてしまうことによって、そのような操作の成功率が格段に向上した。

(8) 上記の技術を総合することにより、袋折りや中割り折りといった高度な紙折り作業をロボットにより実行させることに成功した。図3は実現した袋折りである。谷折り2回と袋おり1回を連続して実行している。

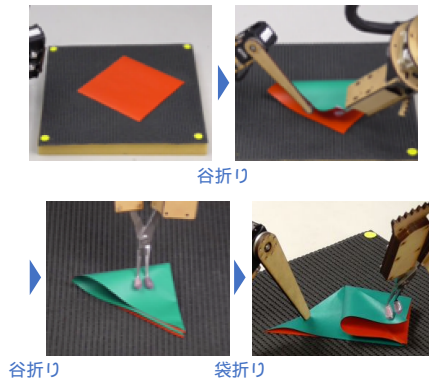


図3 袋折り

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

中道悠太, 工藤俊亮, 末廣尚士. 視覚情報を用いた折り紙の辺合わせ. 第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2017), pp. 1380-1384, 2017.

中道悠太, 工藤俊亮, 末廣尚士. 折り紙ロボットによる袋折り手法の提案. 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2016), pp. 1165--1168, 2016.

鈴木兼悟, 工藤俊亮, 末廣尚士. 視覚情報を用いた折り紙の頂点合わせ. 第34回日本ロボット学会学術講演会, 1B1-05, 2016.

鈴木兼悟, 藤岡直幹, 工藤俊亮, 末廣尚士. 画像情報と折り紙公理を用いたロボットアームによる三角折りの実現. 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2015), pp. 237--240, 2015.

藤岡直幹, 工藤俊亮, 末廣尚士. 折り動作における折り線認識手法の検討. 第33回日本ロボット学会学術講演会, 3A2-07, 2015.

6. 研究組織

(1)研究代表者

工藤俊亮 (KUDOH, Shunsuke)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：90582338