

令和 3 年 5 月 6 日現在

機関番号：15301
 研究種目：基盤研究(C) (一般)
 研究期間：2018～2020
 課題番号：18K04051
 研究課題名(和文) ロボットマニピュレータによる柔軟物体ハンドリングを実現する形状抽象化と操作計画法

 研究課題名(英文) Shape abstraction and operation planning method to realize flexible object handling by robot manipulator

 研究代表者
 松野 隆幸 (Matsuno, Takayuki)

 岡山大学・自然科学研究科・准教授

 研究者番号：50377842
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではひも結び操作を実行するための新しい形状抽象化データとこれを用いた操作計画法を提案した。提案した形状抽象化データはひも射影図に含まれる面をリスト形式で記述することから面リストと呼んでいる。本研究のひも形状操作の計画法は既存のひもの位相表現法であるP-dataと面リストを併用して、ライデマイスター移動およびクロスによる結び目の状態遷移を樹形図として表現する。このときP-dataだけでは記述できない情報を面リストで補完することで目標形状への正しい形状変化を制御できる。さらに各形状操作の難しさをコストとして最適な形状操作を選択し、動作生成アルゴリズムを用いて実際のひもへの形状操作を行う。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではひも結び操作を実行するための新しい形状抽象化データとこれを用いた操作計画法を提案した。ひものような変形する物体は代表点を操作するだけでは、目的形状に操作できない。様々に変形する形状を抽象化し、例えば結ばれている状態をどのように表現するかが問題となる。ここではその一例として、従来研究で提案されているP-dataと我々が提案するP-dataを組み合わせる手法を提案した。これにより、ひもの交点の重なりからどのように絡まっているかとうことが一意に表現でき、操作手順の計画生成に応用できる。人間が思考していると同様な数値だけでは表現できない位相情報をロボットの動作計画に組み込んだことが新しい。

研究成果の概要(英文)：In this study, we proposed a new shape abstraction data for executing the string knot operation, and proposed an operation planning method using that. The proposed shape abstraction data is called "Face List" because the faces included in the string projection drawing are described in a list format. The planning method for string shape manipulation in this study uses P-data, which is a conventional string phase representation method, and Face List together to express the state transition of knotting by 'Reidemeister Move' and 'Cross Action' as a tree diagram. The correct shape changing to the target shape can be controlled by supplementing the information that cannot be described by P-data alone with the Face List. Furthermore, the difficulty of each shape operation is taken as the cost to select the optimal sequential shape operation, and the first shape operation of it is performed to the actual string using the motion generation algorithm.

研究分野：ロボット工学

キーワード：柔軟物体ハンドリング マニピュレータロボット 位相幾何

1. 研究開始当初の背景

人間の身の回りには柔らかく変形の大きな物体が多数存在し、それをロボットで操ること要求が大きいが実現できていない。これは形状が既知であることを前提とした画像処理が適用できないことと、操作手順をロボットの内部で生成するアルゴリズムが欠けていたためである。操作手順生成にはひもの形状情報を圧縮するための表現方法が重要である。これまでに P-data と呼ばれる表現方法が提案されてきたが、この情報ではひも結び動作計画において計算量が増大しすぎる問題に直面した。我々は Face-List という新しい表現方法を P-data に付け加えることでこの問題を解決し、ひも形状のセンシング、動作計画、動作実行までを全自動で実現するマニピュレータシステムを提案する。

2. 研究の目的

我々はひもの 3 次元位置・形状を記述する点連鎖モデルや、3 次元点群のデータからひもの形状を認識し点連鎖モデルを出力するひも形状認識法、結び目理論を応用した操作計画法等を提案しており、マニピュレータを用いたひも解き操作実験にも成功した。図 1 に示すように形状計測 (a) ではマニピュレータ先端のハンド部分にある距離カメラで紐の距離情報を取得する。ICP アルゴリズムを用いて複数の視点からの距離情報を合成する。得られた距離情報から床面などの情報を取り除くと、紐の表面を表現する点群データ (b) を取得できる。点群データから紐の直径を仮定して、紐の中視線を重なりかたも含めて計算する (c)。中心線を床面上に写像し、交差点の上下関係の情報を用いることで P-data と呼ばれる行列を取得する。現在の形状から様々な紐ほどき操作の経路計画を得る (d)。その経路計画は樹形図のように操作を繰り返すごとに分岐していくので、その中で最適なものを選ぶ必要がある。そこでいくつかある操作を操作難易度によって点数付けをし、将来的に難しい操作を避けて紐をほどく操作手順を選ぶ。その紐の動作手順にしたがってロボットの動作プリミティブを選ぶ (e)。その動作計画に基づいて操作を実行する (f)。

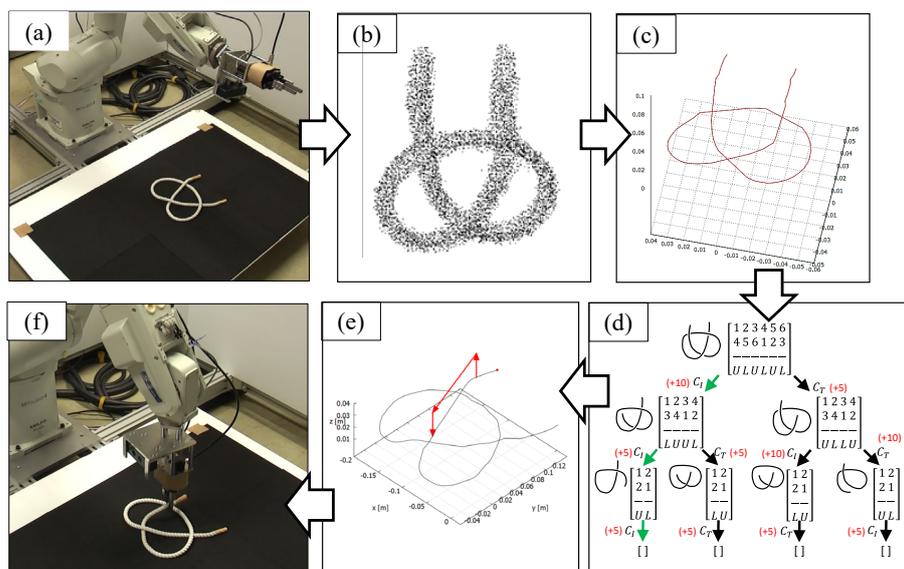


図 1: マニピュレータによる紐ほどき操作手順の詳細

柔軟物体の絡み具合を P-data と呼ばれるマトリックスによって表現できることは知られているが、これだけでは不十分であることが分かった。これに加えて Face-List と呼ばれる、ロープの部分同士の隣接関係を記述したデータ形式を提案しており、これはほかのどの研究者も提案しておらず新規性がある。これまでの研究では、紐ほどき動作におけるロボットの操作による形状の変化を P-data と呼ばれる行列で表現できた、図 2 にその一例を示す。紐の一部をねじる動作をライドマイスター移動 1 (RMI) と呼び、それによって紐の一部のねじりが解消される動作に着目している。この作業は図 2 の下段に示される P-data の特定の 2 列を消去することに対応している。そのたの動作に対しても、P-data の変化が分かっているので動作による結果が予測できる。

一方で、紐を結ぶ動作を P-data で表現すると動作の選択肢が増えすぎるため計算量が爆発してしまう。それは現実世界では実現不可能な、紐の端点と紐の一部を交差させる動作も P-data 上では可能だからである。これは P-data は情報を要約しすぎているためであり、現実世界での紐の状態遷移の可能性を表現していないためである。そこで、紐の状態遷移の可能性を記述する Face-List を構築し P-data と併用することで、選択肢増大の問題を回避する。図 3 左側は提案する Face-List であり、P-data では表現していない面 (Face) と線 (Segment) の関係を記述するリスト形式の表現方法である。その形状情報をノードとして、ひもの操作にける形状変形の手順を樹形図を用いて表現できる。ひも操作の樹形図が生成できれば、コスト評価により最適な操作経路を選択できる。図 3 は紐ほどき操作における樹形図であり、クロスなどの様々な動作に対する紐の変化が網羅でき、その中で成功しやすい操作経路を選べばよい。

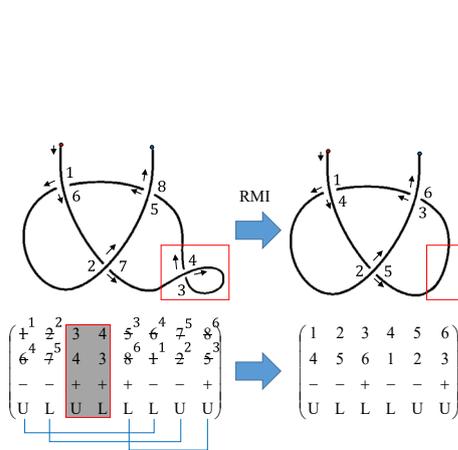


図 2 : 紐ほどき操作と P-data の変化

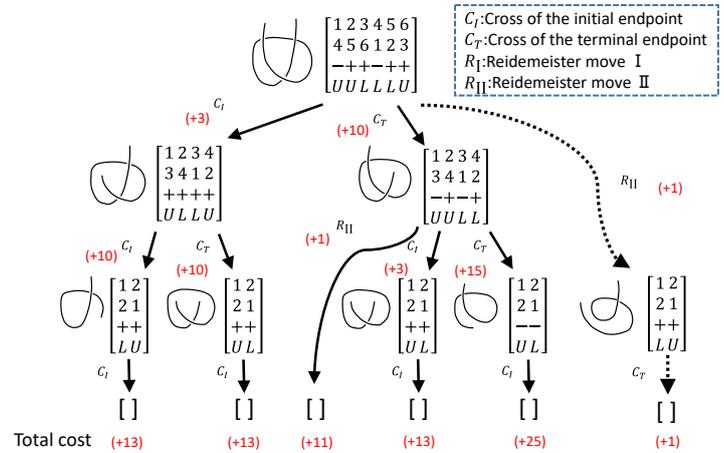


図 3 : 紐ほどき動作における樹形図の一例

3. 研究の方法

ひものハンドリングの研究ではロボットが手順を生成するには、カメラ情報から形状を要約して、ひもの操作手順を計算する必要性を見つけた。その要約方法として従来研究では結び目の不変量や P-data などを用いてきたが、ひも結び動作を自動的に生成するために新しい要約データである Face List を提案するに至った。図 4 に Face List を示す。

研究手順について述べる。まず、距離カメラデータから P-data と Face List が正しく取得できるかを実験により確認した。次にロボットマニピュレータに対してライドマイスター動作とクロス動作が紐の形状に応じて動作できるかを確認した。次に、P-data と Face List の情報をノードとした樹形図を生成し動作計画が可能かを確認した。樹形図の生成においてツリーの深

さが5ステップを超えると生成される状態が莫大になり，デスクトップパソコンで20時間以上の計算時間を要するため，生成する樹形図の深さは4までとした。

以上のアルゴリズムを統合してひもの柔軟物体ハンドリングを実現した．図5にロボットマニピュレータ実験の様子を示す．

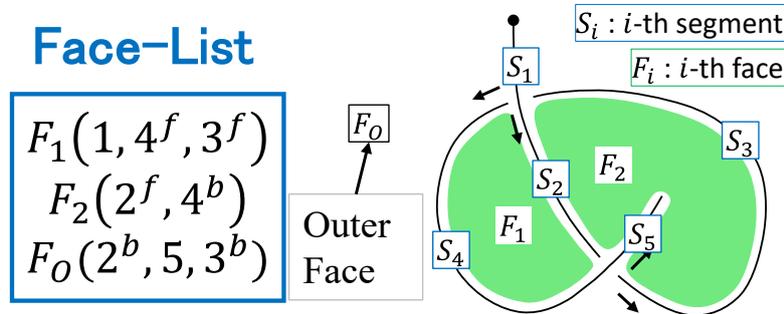


図4: Face-List の概要



図5: ロボットマニピュレータ実験の様子

4. 研究成果

本研究ではひも結び操作を効果的に実行するための新しい形状抽象化データとこれを用いた操作計画法を提案した．提案した形状抽象化データはひも射影図に含まれる面をリスト形式で記述することから面リストと呼んでいる．本研究のひも形状操作の計画法は既存のひもの位相表現法である P-data と面リストを併用して，ライデマイスター移動およびクロスによる結び目の状態遷移を樹形図として表現する．このとき P-data だけでは記述できない情報を面リストで補完することで目標形状への正しい形状変化を制御できる．さらに各形状操作の難しさをコストとして得点付けすることで最適な形状操作を選択し，提案するロボットの動作生成アルゴリズムを用いて実際のひもへの形状操作を行う．すなわち本研究の新規性は新しいひもの形状抽象化データである面リストの提案，ライデマイスター移動およびクロスの適用に伴う面リストの変化則の確立，ロボットの動作生成アルゴリズムの提案にある．

これらの手法をプログラムに実装することで計算を自動化し，その有効性を検証するためにマニピュレータを用いたひも結び実験を行った．その結果，解かれたひもから止め結びを生成する実験と止め結びとは異なる結び目に操作を加えて，止め結びに変形させる2種類の実験に成功した前者の実験では，マニピュレータによる形状操作時に意図していないひもの変形が発生してプログラムによって計算された最適な形状操作から逸脱したにも関わらず，状況に応じてひも結び操作とひも解き操作を使い分けることで最終的に止め結びの生成に成功した．このと

き人間の介入はなく、プログラムによって自動的に結び目状態の判断とロボットの行動制御が行われたことから提案手法の有効性が確認された。また後者の実験では目標形状である止め結びと初期形状の相違を正確に判定し、提案したロボットの動作生成アルゴリズムによる形状操作で意図した形状変化をひもに生じさせることができた。このことから提案したロボットの動作生成アルゴリズムの有効性も検証された。

また、ひもの結び操作の成功率向上のために、目標形状におけるひものセグメント長の比率を考慮したロボット操作軌道の生成法を提案した。目標形状の形状抽象化データ及び計画された操作群をもとに一回操作後の形状におけるセグメント長の比率を算出する。有効性を検証するために8の字結びを目標形状とした実機実験をおこなった。図6に8の字結びのための形状操作計画を示す。

しかし、上記の実験はエンドエフェクタに距離カメラを搭載し、いくつかの視点から得た距離センサ画像に対して ICP アルゴリズムを適用し、死角の無い距離画像を生成する手法を用いており、認識および操作に時間を要した。より実用的な柔軟物体マニピュレーションを目指して、固定した距離カメラを複数台用いた柔軟物体の形状認識を試行した。

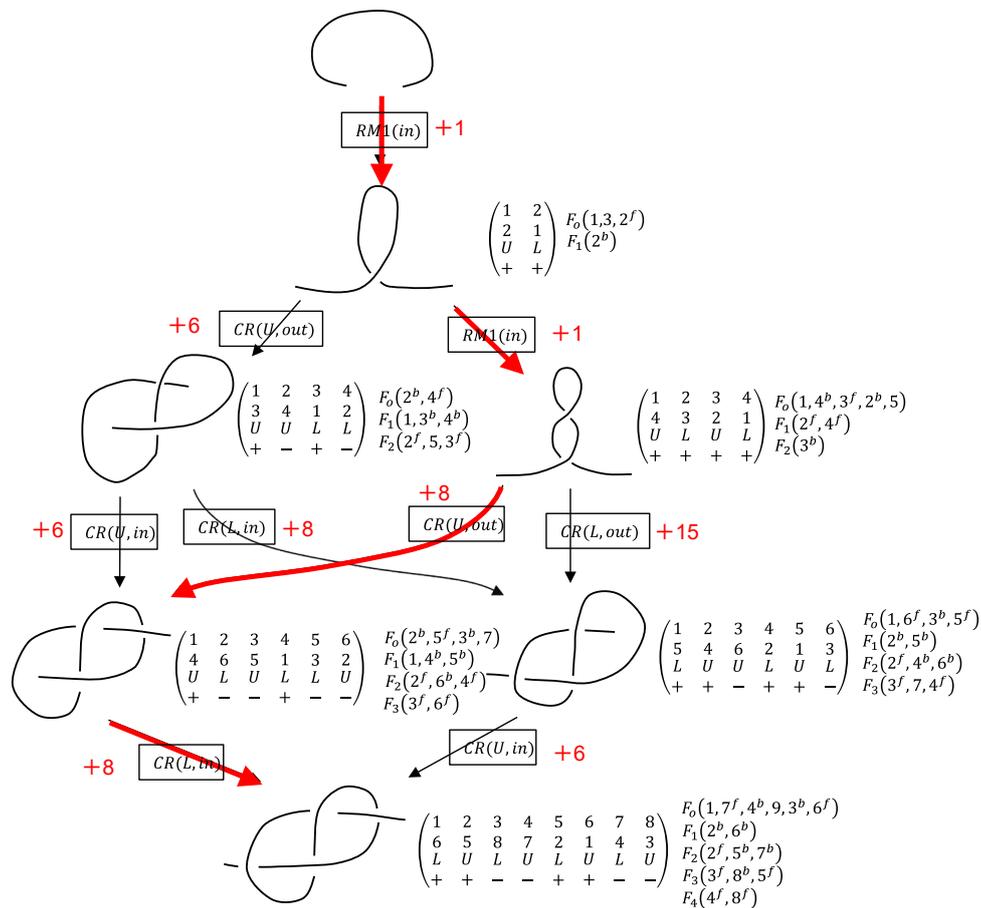


図6：8の字結びのための形状操作計画

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松野隆幸、渡部知俊、見浪護
2. 発表標題 ひも形状操作におけるセグメント長の比率を考慮したマニピュレータ動作生成
3. 学会等名 第19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
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松野隆幸
2. 発表標題 柔軟物体ハンドリングにおける距離センサを用いた物体認識に関する考察
3. 学会等名 第21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
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------