

ひもの形状操作を目的としたロボットマニピュレーション -結び目理論に基づくロボットの動作計画と軌道生成法の提案-

Robot Manipulation for the Purpose of String Shape Operation -Robot Trajectory Planning System Based on the Knot Theory-

○ 渡部知俊 (岡山大) 白川智也 (岡山大)
向井啓祐 (岡山大) 正 松野隆幸 (岡山大)
正 矢納陽 (岡山大) 正 見浪護 (岡山大)

Tomotoshi WATANABE, Okayama University, pzmf64td@s.okayama-u.ac.jp
Tomoya SHIRAKAWA, Okayama University
Keisuke MUKAI, Okayama University
Takayuki MATSUNO, Okayama University
Akira YANOU, Okayama University
Mamoru MINAMI, Okayama University

The demand that a robot manipulates deformable objects, such as papers and clothes, strings surround people grows. It is difficult for a robot to manipulate deformable object, because it needs to deal with various form. Therefore, it is important for a robot to recognize those forms. In previous research, distance camera was used to get point cloud data of string. In addition, algorithm to express shape of a string was proposed by making point chain model to be constructed in vector sequence. In this research, algorithm to extract manipulation plan in order to untie a string by a robot is proposed. In this algorithm, first, a figure to be projected in two-dimension is made from obtained point chain model. Also, topology information called P-data is acquired. Next, tree diagram regarding operation process of a string is made from obtained P-data. Finally, manipulation plan of robot is extracted in order to untie a string efficiently. Effectiveness of proposed algorithm is confirmed by experiment.

Key Words: Robot, Manipulation, Planning, deformable object

1 緒言

我々の身の回りに存在する布やひもといった物体は柔らかく形状が一定に定まりにくい不定形物体と呼ばれる。この不定形物体のマニピュレーションは様々な変化する形状に対して柔軟に対応する必要があり、画一的な動作で操作することができないため困難である。近年増加しているセル生産方式ではロボットマニピュレータが作業の自動化に貢献している。このような生産の現場にもケーブルのような不定形物体が存在しており、ロボットによる配線作業の自動化が期待されている [1]。また家庭用ロボットが作業を行う人々の生活圏には様々な柔軟物が存在しそれらを自由に操作することは必要不可欠である [2]。本研究は不定形物体であるひもに着目する。この分野に関する先行研究としては高松ら [3] によってひもの形状や状態の記述法に関する研究がなされている。また森田ら [4] や若松ら [5]、松野ら [6] はロボットマニピュレータによるひもの形状操作を目的とした研究を行い、CCDカメラで床に置かれたひもの形状を認識し、結び目理論やトポロジーを応用した状態遷移の理論、それらを使ったロボットの動作計画などを提案している。それらに対して我々の研究では、これまで距離カメラで対象となる紐を三次元の点群として取得し、そこから紐の形状を位置ベクトルの列で構成する点連鎖モデルと呼ばれるものを生成するためのアルゴリズムを提案した [7]。このアルゴリズムでは、複数の視点から得られた点群データを合成する ICP アルゴリズム [8]、物体表面の法線推定、法線ベクトル情報をもとに紐の中心軸を推定する中心軸推定、紐の太さ情報を利用したマッチング法などの複数の点群処理を施すことによって、紐の交点での誤認識を解消し、オクルージョンのない紐の完全な三次元形状を復元できることを示した。

本研究では、認識した紐の形状に基づき、紐ほどきの動作計画を自動的に生成する手法を提案する。この手法では、まず得られ

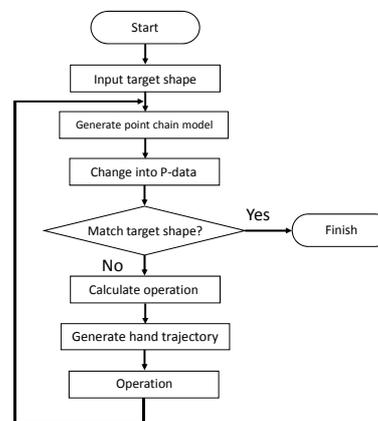


Fig.1 Construction of the string shape operation system

た点連鎖モデルから二次元の射影図を生成し、P-data と呼ばれるトポロジー情報を取得する。次に、得られた P-data をもとに紐の操作手順の樹形図を生成する。最後に、紐を効率よくほどくためのロボットの動作計画を導出し、実機実験により提案手法の有効性を確認する。

2 ひも形状操作アルゴリズム

本研究で提案するひも形状操作アルゴリズムの構成を図 1 に示す。本アルゴリズムの主なプロセスは形状認識、プランニング、実機による操作となっている。

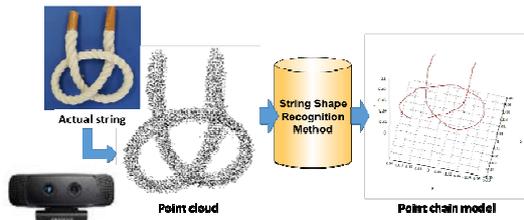


Fig.2 Recognition

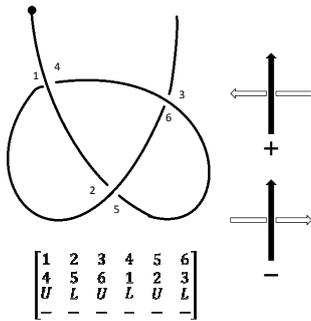


Fig.3 Projected string and P-data

2.1 形状認識

対象となるひもを3次元の点群データとして取得するためにCREATIVE SENZ 3Dカメラを用いる。このカメラは射影体の表面形状を多数の点の集まりとして記録することが出来る。距離カメラで取得した点群データから処理を行いひもの形状を表現する点連鎖モデルを得る。(図2)

2.2 P-data

P-dataとは結び目理論を応用した両端のある開曲線の結び目などを扱う数学的概念である。P-dataはひもの位置や形状などの座標情報を持たず、ひもの平面射影図のトポロジー情報のみを持つ。(図3)

2.3 クロス・ライデマイスター移動

ライデマイスター移動とは結び目理論で定義されているひもの形状操作であり、3種類の動作がある。ライデマイスター移動1(以下RM1とする)はループを作る動作、ライデマイスター移動2(以下RM2とする)はセグメントが他のセグメントを横切る動作、ライデマイスター移動3はセグメントを交点をまたぐ動作である。また、クロス(以下CRとする)は端点がセグメントを横切る動作である。これらの動作を基本的な動作として何度か行うことでひもの形状これらの動作はP-dataに対しても行うことが出来る。現在、本研究ではひもを解く操作を目標としており、ひもの交点を0個にすることでそれを実現することを考えている。交点の数を減らすことが出来るRM1, RM2, CRの3種類の動作を操作要素として用いる。CRは端点から1個目と2個目の交点の上下関係によって難度が変わるため、4種類に分類し、CR(A, B)と表記する。Aは端点から1番目の交点の、Bは2番目の交点の上下関係を表す。各操作を行えるP-dataの条件を5に示す。

2.4 形状操作の導出

認識の結果、得られたP-dataからどの形状操作を行うかを選択する必要がある。ロボットによる各操作の難度をコストとして定義し、それをもとに行う形状操作を選択する。6種類の操作に対して4つの評価項目(操作回数, 成功率, ひも同士の干渉, エ

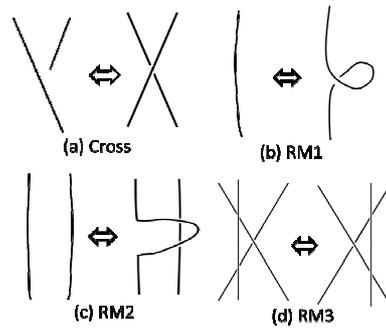


Fig.4 Reidemeister moves and cross

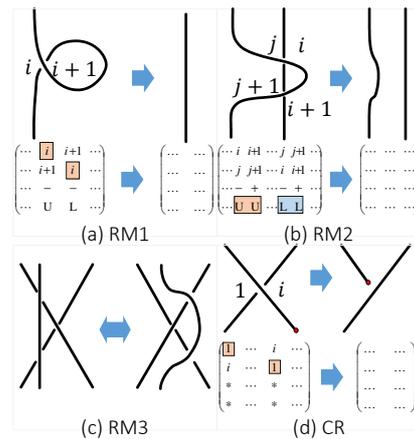


Fig.5 Change P-data under operation

ンドエフェクタとひもの干渉)を用いて、それぞれの操作の難度を評価する。

- RM2
一度の操作で交点を2個取り除くことができ、また干渉が少なく操作自体も難しくないため、作業効率は良いと考えられる。
- RM1
ロボットでのRM1の操作自体は困難ではないが、ひもの端点が2つともセグメントの領域内にあるとき、操作実行後に目標の形状になるとは限らない。そのため操作の成功率は高いとは言えず、作業効率は良くないと考えている。
- CR(U, U)
交点を1個取り除く操作の中で、ひもとロボットの手先の干渉が最も小さいと考えられる。
- CR(U, L)
CRが適用される側のひもの端点から見て2番目の交点で、ひもとロボットの手先で干渉が起こる可能性がある。この操作の場合は第1セグメント(端点を持つリンク)を操作することで、ある程度干渉を抑えることは可能である。
- CR(L, L)
CRが適用される側のひもの端点から見て1番目と2番目の両方の交点で、ひもとロボットの手先で干渉が起こる可能性があるため、作業効率は悪いと考えられる。
- CR(L, U)
CRが適用される側のひもの端点から見て2番目の交点ではひもとロボットの手先の干渉は小さい。しかしながら、1

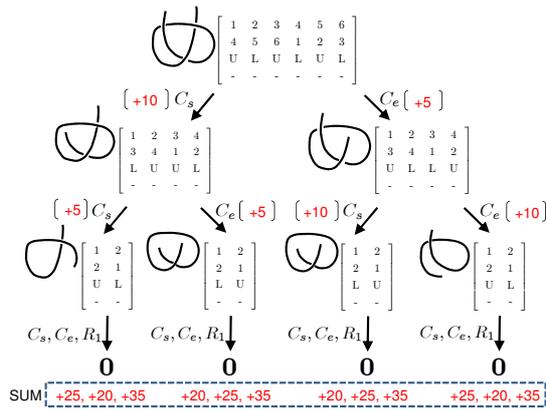


Fig.6 Tree diagram regarding transitions of both p-data and state of a string

番目の交点でひものセグメントの上部が操作の干渉を起こす可能性がある。

交点の数が1つの場合に行える動作はCR(U,L), CR(L,U), RM1のみであり、操作の成功率、ひも同士干渉を考慮してCR(U,L)を採用することにする。以上より各操作のコストを表1のように設定する。

Table 1 Cost of shape operation

交点の数	RM2	RM1	CR(U,U)	CR(U,L)	CR(L,L)	CR(L,U)
2個以上	1	8	3	10	15	5
1個	*	8	*	5	*	10

現在のひもの形状に対してP-data上で交点なくなるまで操作要素となる動作を行い図6のように樹形図を作成し、コストが最小となる動作を選択し実行する。

2.5 ロボットの軌道計画

各操作要素に対してロボットの動作計画を立てる。形状操作においてひも全体の形状が変化してしまうような操作は好ましくないため、端点に近いセグメントを操作するようにする。以下、操作要素の動作計画を述べる。

2.5.1 CR

CRの操作はCR(U,U), CR(U,L), CR(L,U), CR(L,L)の4種類に分類される。CR(L,L)はすべての操作の中で最もコストが高く設定されているため、採用されない。そのためCR(L,L)の操作軌道は生成しない。CR(U,U), CR(U,L)については端点から1番目の交点は上側なので、その交点をまたぐ操作におけるひもと指先の干渉が起きない。第1セグメントを操作し交点を取り除くよう操作する。CR(L,U)については端点から1番目の交点は下側となっており、その交点をまたぐ操作におけるひもと指先の干渉が起きる。そのため、第2セグメントを操作し、引き抜きようにして交点を取り除く。

2.5.2 RM1

RM1ではループの中点を交点上に持ち上げ、回転させることでループを解く。このとき交点における交差方向によって回転方向が変わる。

2.5.3 RM2

RM2を行える形状はあるセグメントに他のセグメントが乗っている状態である。ひもと指先の干渉を考慮して上側のセグメントを下側のセグメントの中点方向に操作することで交点を取り除く。

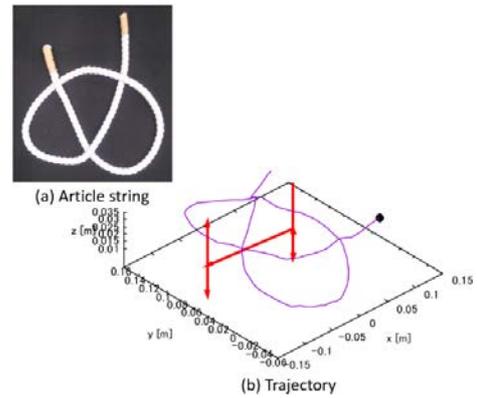


Fig.7 Hand trajectory to realize Cross operation

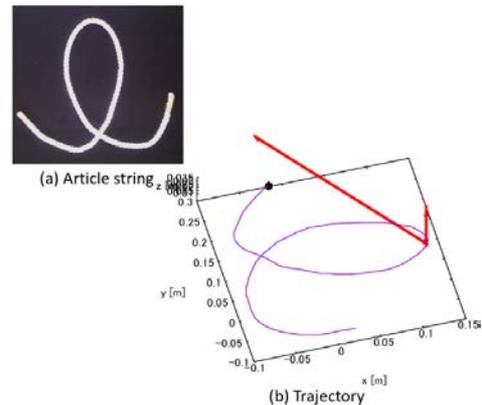


Fig.8 Hand trajectory to realize RM1 operation

3 ひも解き実験

3.1 実験環境

実験環境を図10に示す。操作対象のひもの下に黒い滑り止めシートを敷いている。このシートは赤外線吸収する素材で出来ているため、距離カメラによる認識において検出されない。また、操作によるひも全体の滑りが起きない。

3.2 実験結果

結ばれた状態のひも(図12(a))に対して操作を行う。認識の結果、選ばれた操作はCR(U,L)であり、操作の軌道は図12(a)に示す。操作の結果得られたひもの形状を図12(a)に示す。この形状に対して再度認識を行った結果、選ばれた操作はCR(L,U)である。また、このときの操作の軌道は図12(a)に示す。操作の結果得られたひもの形状は図12(a)に示す。再度認識を行った結果、選ばれた操作はCR(U,L)であり、操作の軌道は図12(a)に示す。操作後のひも(図12(a))を再度認識した結果、交点は検出されず、操作は終了した。

4 結言

本研究では認識したひもの形状に基づき、ひも解きの動作計画を自動生成する手法を提案した。ひもを解く操作手順に関する樹形図から、ロボットがひもを効率よくほぐすための操作の組み合わせを選択できるような方法を提案し、またそれぞれの形状操作に対するロボットの動作計画を立てた。認識によって得られた3次元点群情報をもとに操作を行い、実際に結ばれた状態のひもを解くことができた。現在、操作の軌道は行う操作によって一意に決められている。そのため形状によって操作の成功率が変わる。

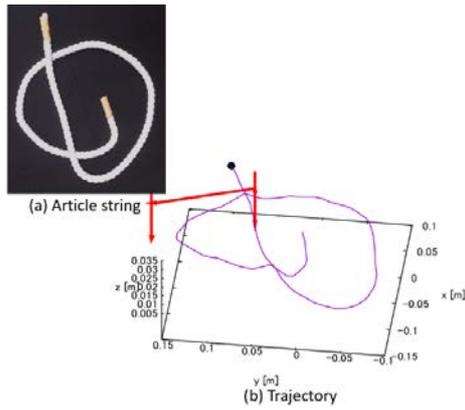


Fig.9 Hand trajectory to realize RM2 operation

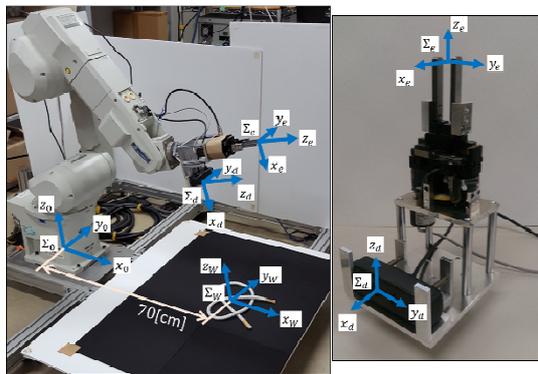


Fig.10 Experiment environment

今後の課題として、点連鎖モデルの座標情報や P-data から操作の軌道を形状ごとに変更する必要がある。

References

- [1] 鷺見和彦, “解説 柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステムの開発,” 日本ロボット学会誌, Vol.27, No.10, pp1082-pp1085, Jul.2009.
- [2] 金子学, 柿倉正義, “家庭用サービスロボットののための柔軟物体のハンドリングに関する研究-布地の画像処理について-”, コンピュータビジョンとイメージメディア, 135-2, 2002.
- [3] 高松淳, 森田拓磨, 小川原光一, 木村浩, 池内克史, “ロボットによる実行を目的とした紐結び作業の記述”, 日本ロボット学会誌 Vol.23No.5, pp.572~582, 2005.
- [4] 森田拓磨, 高松淳, 小川原光一, 木村浩, 池内克史, “観察によるひも結び動作の学習”, コンピュータビジョンとイメージメディア, 135-12, 2002.
- [5] 若松栄史, 妻屋彰, 荒井栄司, 平井慎一, “結び/解き操作を含めた線状物体のマニピュレーション”, 日本ロボット学会誌, Vol.23, No.3, pp.344~351, 2005.
- [6] 松野隆幸, 玉置大地, 新井史人, 福田敏男, “トポロジカルモデルと結び目不変量を用いたマニピュレーションのためのロープの形状認識”, 計測自動制御学会論文集, Vol.41, No.4, p.366~p.372, 2005.
- [7] Keisuke Mukai, Takayuki Matsuno, Akira Yanou, Mamoru Minami, “Shape Modeling of A String And Recognition Using Distance Sensor”, IEEE 24th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Aug.31-Sep.4, 2015.
- [8] 中井康博, 美濃導彦, “複数の点群に対する位置合わせ手法の性能比較”, 特別研究報告書, 2012.

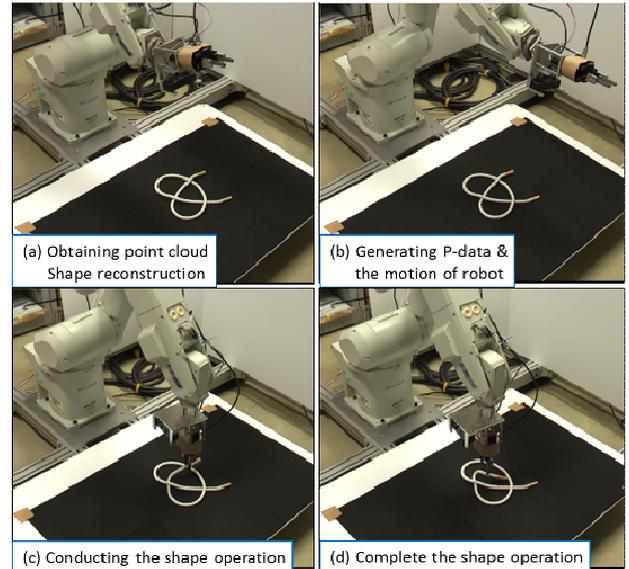


Fig.11 Manipulation flow

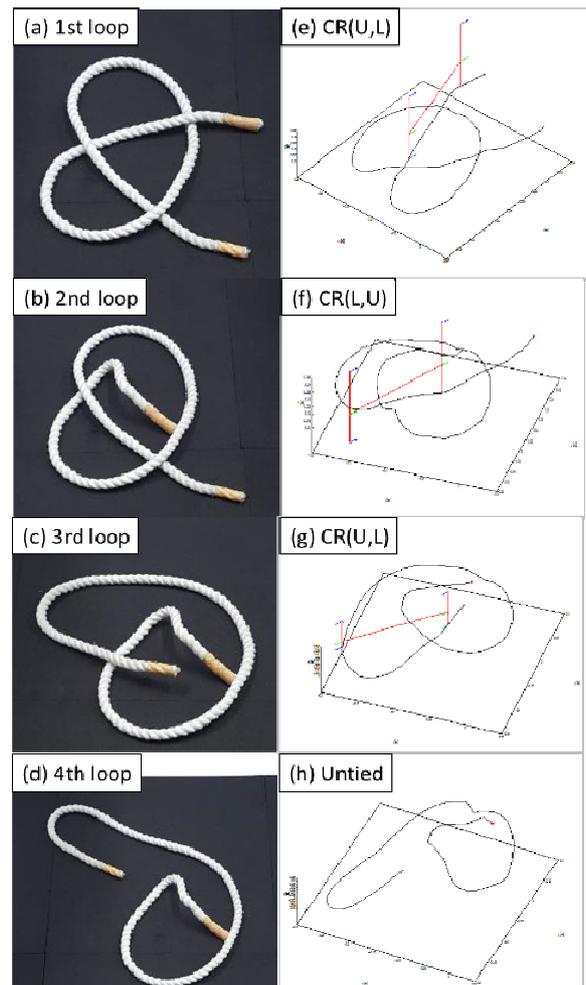


Fig.12 String shape and operation plan