

双腕ロボットによる紐状物体の引掛け配線作業の実現

Wiring with Hooking of a String by a Dual-Armed Robot

○小石原 洋介 (信州大) 正 山崎 公俊 (信州大)

Yosuke KOISHIHARA, Kimitoshi YAMAZAKI, kyamazaki@shinshu-u.ac.jp

This paper describes string manipulation especially about wiring with hooking. We propose novel end-effectors that are suitable for hooking. One end-effector has a role of grasping a string, and the other has an aim of preventing the string turning away from a target hook. We also propose a method of wiring motion generation by using simple GUI. Experiments using a real dual-armed robot showed the effectiveness of our approach.

Key Words: String manipulation, dual-armed robot, end-effector

1. はじめに

ケーブルなどの紐状物体を操作する作業は、電線から家電製品の配線まで、生活空間の様々な場所で想定される。しかし、その多くは未だ人の手に依存しており、自動化がなされているものは数少ない。そのような背景から、これまでに画像処理や紐のモデルを用いたケーブル操作に関する研究が報告されている[1][2]。しかし、ロボットの動作の遅さ、またはモデル生成の難しさから、一般への普及が困難であることが予想される。これらのことからロボットによる柔軟物体のハンドリングに関する研究をおこなうことは、学術的にも実用的にも意義深い。

本研究の目的は、短時間かつモデルを必要としない簡単な動作でロボットによるケーブル操作を行うことである。本稿では、一般に考えられる紐状物体操作のうち、板上に取り付けられたフックへ紐状物体を引掛ける作業に焦点を当て、それを双腕ロボットでおこなう手法について報告をおこなう。以後、この作業を「板上フックへの引掛け配線」と称する。

本論文の構成を以下に示す。第2章では、引掛け配線についての説明とそのアプローチについて述べる。第3章では、双腕ハンドリングを行う際に使用するエンドエフェクタについて説明する。第4章では操作の手順を指示するためのGUIについて述べる。第5章では第4章までで説明した手法に基づき、実際にロボットを用いた実験と、その結果に対する考察を行う。そして第6章では、本論文のまとめと今後の課題を示す。

2. 問題設定とアプローチ

板上フックへの引掛け配線とは、図1に示すような複数の突起物がある平板に対し、指定された順番で突起に紐状物体

を通していく作業のことである。図1のような例の場合、右上の突起、左上の突起、右下の突起の順番で紐状物体を通す。

本研究では、二指ハンドを備えた上半身ヒューマノイドロボットを使用し、それらの二指ハンドに専用のエンドエフェクタを取り付けることで、引掛け配線を行うことを目標とする。専用のエンドエフェクタは着脱可能であり、取り外すことでヒューマノイドロボットに他の作業を実行させることも可能である。使用するセンサは、腰部に搭載したカラーカメラである。

本研究で使用する専用のエンドエフェクタは、移動用ハンドと補助用ハンドの2種類あり、移動用は紐状物体の移動に、補助用は突起物への引掛けの際にそれぞれ使用する。

補助用ハンドと移動用ハンドを用いた突起物への引掛けを横から見た様子を図2に示す。突起の入口部分に補助用ハンドを添え、紐状物体を引っ張ると、補助ハンドの先端に紐状物体が接触する。そのままさらに紐状物体を引っ張り続けると接触部分が下へ移動し、最終的に補助用ハンドが紐状物体を平板へ押し付ける形となる。そこからさらに紐状物体を引っ張ると、紐状物体が補助用ハンドを抜け、突起への引掛け

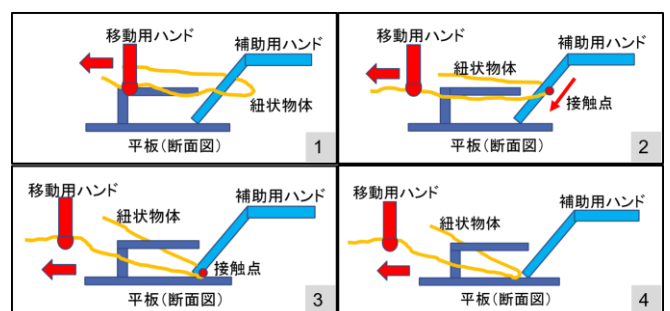


Fig. 2 引掛け配線のコンセプト

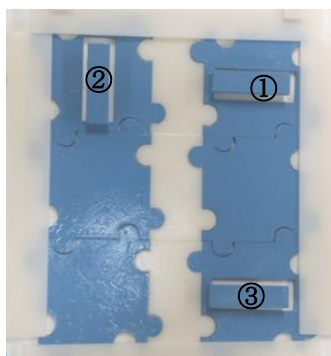


Fig. 1 複数突起物がある平板

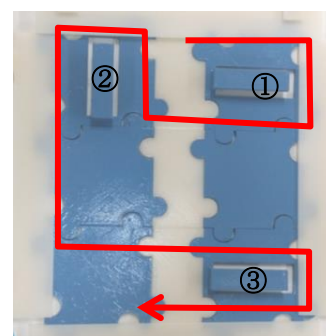


Fig. 3 必要経路

が完了する。つまり、補助用ハンドを突起の入口に添えて紐状物体を引っ張るといった簡単な操作だけで引掛け配線が可能である。

この手法を用いて平板上の複数の突起物を通していく場合、突起物の周りを移動しながら引っ張ることのできる図 3 のような経路が必要となってくる。しかし、この経路を手で毎回作成するには多くの時間と労力がかかる。そこで人手の手間を減らす方策として、通したい突起物の位置と順番を GUI から指示することで、自動で経路を生成できるプログラムを作成する。

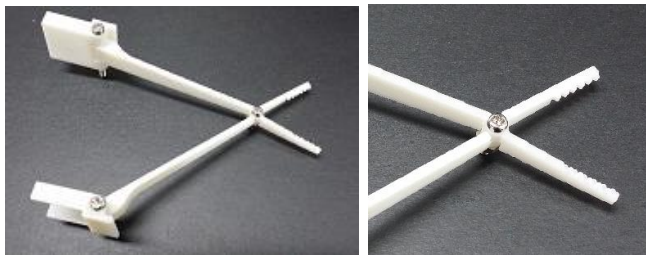


Fig. 4 移動用ハンド



Fig. 5 補助ハンド

3. 双腕ハンドリングのためのエンドエフェクタ

本研究では紐状物体の移動を行う移動用ハンドと、紐状物体をフックへ通すための補助を行う補助ハンドの 2 種類のエンドエフェクタを使用する。

本章では、種類ごとに実際に作成したエンドエフェクタについて説明する。

3.1 移動用ハンド

引掛け配線を効率的に行うための経路を作成した後、その経路に沿って紐状物体を移動させなければならない。その際、使用するのが移動用ハンドである。この移動用ハンドには、以下の要素が必要とされる。

- ・紐状物体を把持するための形状
- ・把持を維持しやすくするための形状

まず、紐状物体を把持するために、図 4 左のように、はさみのような形状を採用した。この形状であれば、指先の幅を変えるだけで紐状物体を把持することが可能である。

次に、把持を維持しやすくするために、図 4 右のように、はさみこみ部に刻み目をつけた。これにより、把持中に紐状物体が抜け落ちることを防ぐ。

3.2 補助ハンド

補助ハンドの役割については第 2 章で述べたとおりであるが、実際に作成するにあたって以下の要素が必要となる。

- ・紐状物体を押しえつけるための機構

図 5 のように、押しえつけ部分をばねで作成した。これにより、平板へある程度押し付けるだけで、ばねの反発する力で紐状物体を押しえつけることが可能である。

4. 経路生成および操作手順指示

4.1 紐状物体移動用経路生成方法

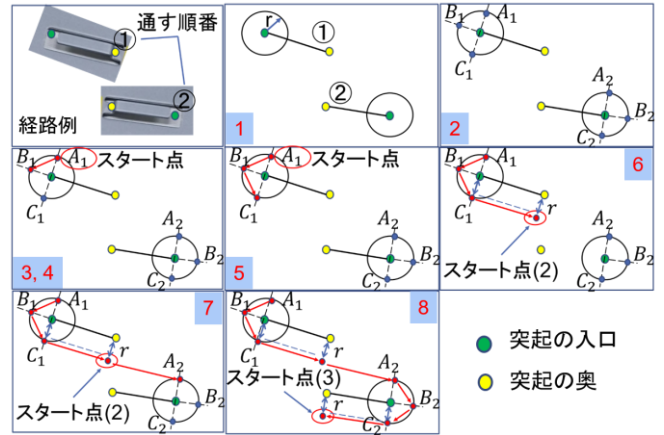


Fig. 6 経路作成方法

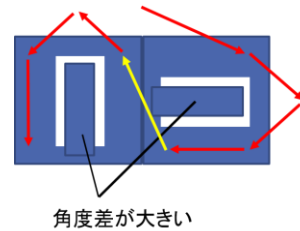


Fig. 7 急激な斜め移動による引掛け失敗

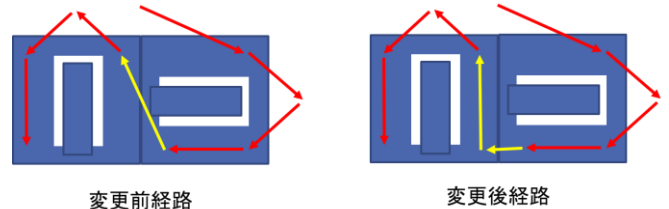


Fig. 8 経路生成の改良

まず、効率よく引掛け配線を行うために、移動用ハンドが通る経路の生成方法について説明する。

前提条件として、図 6 最上段左に示すような、突起の奥の位置と、突起の入口の位置、そして通す突起の順番がわかっているものとする。以下に、図 6 のような例を利用して生成方法を示す。

1. 入口と奥の座標をそれぞれ結び、入口を原点とした半径 r の円を描く
2. 描いた円と、直線の延長及び直線と直行する線との交点を $A_1, B_1, C_1, \dots, A_n, B_n, C_n$ とし、作成する経路はこの点を全て通るものとする (n は突起の個数)
3. 突起に通すためには突起の入口を回り込む必要があるため、 A_1, C_1 のうち紐状物体の位置に近い方をスタート地点とする
4. A_1, B_1, C_1 の中からスタート点に最も近い点に移動する。ただし、一度通過した点は除外する

5. 5 を A_l, B_l, C_l をすべて通るまで繰り返す
6. 進む場所がなくなった場合、穴の奥地点から r だけ平行移動した地点へ移動し、その点を新たなスタート点とする
7. 次に通すべき突起の A, B, C のうち一番近い点に移動
8. 以下、5~8 の手順を繰り返し、 $A_l, B_l, C_l, \dots, A_n, B_n, C_n$ のすべての点に移動したら経路作成完了

ただし、この方法で生成した経路では、図 7 のように引掛け部分の角度が大きく異なる場合、急激な斜め移動により突起への引掛けが失敗しやすいという問題が発生する。そこで、生成する経路を図 8 のように変更することで、急激な斜め移動動作そのものをなくし、失敗を防いだ。

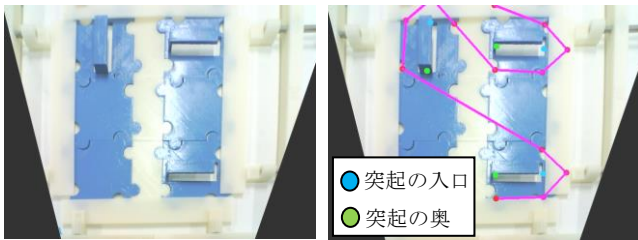


Fig. 9 透視変換画像

Fig. 10 生成経路

Table 1 GUI 格納データ (太枠部分)

通す順番	突起の奥 x座標	突起の奥 y座標	突起入口 x座標	突起入口 y座標
1	X1	Y1	X1'	Y1'
2	X2	Y2	X2'	Y2'
3	X3	Y3	X3'	Y3'
...
n	Xn	Yn	Xn'	Yn'

4.2 GUI を使用した操作手順指示

GUI から操作手順を指示する方法について説明する。まず、図 9 のような画像を画面上に表示する。この画像は、図 12 右図のように設置された web カメラから得た平板全体の画像に透視変換を行った画像である。透視変換を行うことで、ほぼ真上から撮影したような画像を得ることができる。

次に、表示された画像の中から、一番初めに紐状物体を通したい突起の奥の位置でマウスを左クリックし、突起の入口の位置までドラッグしたのち、マウスを離す。この動作により突起の奥の位置と、突起の入口の位置を記録する。位置の記録は、左クリックした位置を突起の奥、マウスを離れた位置を突起の入口として記録している。

この作業を、紐状物体を通す順番で、すべての突起に対して行う。記録データは表 1 のように $n \times 4$ の行列で格納される。よって、格納データの n 行目を参照することで n 番目に通すべき突起の奥と入り口の座標が得られる。これを 4.1 の経路生成方法で使用することで、図 10 のような指定した順番の突起に紐状物体を通すための移動経路が生成できる。

5. 実験

引掛け配線の自動化を行うにあたって、様々な経路に対応できるかどうか検証する必要がある。そこで、様々な経路を実際に作成し、配線できるかどうかの検証実験を行った。

5.1 実験手順

図 11 に実験環境を示す。実験には川田工業株式会社製の双腕ロボット HIRO を使用した。このロボットの腰軸付近に BUFFALO 製のカメラ BSW32KM04 を搭載し、操作手順支持のための GUI や経路作成プログラムで使用するカラー画像を取得した。また、左手の手先部分には移動用ハンド、右手の手先部分には補助ハンドが取り付けられている。これらのエンドエフェクタについての説明は第 3 章を参照されたい。



Fig. 11 実験環境



Fig. 12 補助ハンド・移動用ハンド・web カメラ

まず、ロボットは GUI での指示を受けた後、移動用ハンドの経路を作成する。次に、経路に従い左手がスタート点 $\rightarrow A, B, C \rightarrow$ 次スタート点 \rightarrow 次 $A, B, C \rightarrow \dots$ (以下ループ) の順番で移動していく。右手は、左手が B に移動した後、対応する突起の入口付近に移動する。ただし、左手と右手の干渉を防ぐため、左手が次スタート点へ移動した後、一旦右手を左手の邪魔にならない高さまで移動させる。この左右の手の動作を経路が終了するまで繰り返し、動作終了後に紐状物体が指定した順番通りに突起に配線できているかどうかの判定を行った。判定は、すべて指定した順番通りに配線できた場合のみ成功とした。

5.2 実験条件

本システムでは紐状物体を検知して掴む処理を実装していない。よって実験では、人の手によって紐状物体を掴ませることとした。

実験には材質による影響を少なくするため、麻製の紐を使用した。また、突起がある平板は、実験の最中に動いてしまうと正確な検証ができなくなってしまうため、机に固定した。

さらに、突起がある平板は、パズル状の部品を組み合わせて作成し、試行毎に組み合わせを変化させた。

5.3 実験結果

試行 30 回の結果、成功回数は 24 回、成功率は 80% となった。失敗の要因としては、補助ハンドによる補助が失敗した事例が 6 回であった。

5.4 考察

引掛け部分の角度が大きく異なる場合での失敗がなかったことから、作成する経路を変更した対策が有効に働いていると確認できた。これにより様々な種類の経路に対応できていると考えられる。

一方、補助ハンドによる補助に失敗する事例が最終的に 6 回発生した。原因としては、紐状物体と突起の入口の距離が狭くなってしまい、補助ハンドの先端がその間に入れないことが挙げられる。これを解決するためには、経路を作成する際の半径 r の値を大きくするなどが考えられる。どのような経路にも対応できるようにするため、今後の課題として検討していきたい。

6. まとめ

本稿では、双腕ロボットによる紐状物体の引掛け配線作業の実現について述べた。引掛け配線を効率的に行うための経路作成手法、および 2 種類のエンドエフェクタを用いることで、簡単な動作での板上フックへの引掛け配線を目指した。上半身ヒューマノイドロボットを用いた実験により、提案した手法で 80% の引掛け成功率を得た。

今後の課題は 5.4 節で述べたとおりである。

参考文献

- [1] 佐藤, 岡田, 稲葉:「視覚による紐状物体認識に基づくヒューマノイドの生活支援行動」, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2006, 2A1-D26(1) - 2A1-D26(4), 2006
- [2] 山川, 並木, 石川:「高速ロボットアームを用いた柔軟紐の動的マニピュレーション」, 日本ロボット学会誌, vol.31, No.6, p. 628-638, 2013