

双腕 2 指ロボットによる深層学習を用いた空中紐結び動作の実現

In-air Knotting of Rope by Dual-Arm two-Fingers Robot using DNNs

5119E007-1 金村杏美
KANAMURA Momomi

指導教員 尾形 哲也 教授
Prof. OGATA Tetsuya

概要: 本研究では, 双腕 2 指ロボットアームによる空中での「紐結び」を, 深層学習を用いて実現した. ロボットによる柔軟物の操作は剛体に比べて課題が多く, 近年では, 深層学習を用いた柔軟物操作方法に関する研究が注目されている. 本研究では, 線形柔軟物である紐の操作, 中でも紐結び動作に着目した. 空中での双腕 2 指ロボットアームによる紐の縛り付け動作を行うため, イアンノットをベースにした紐結び動作を設計した. また, 上記の動作を Recurrent Neural Network (RNN) と Convolutional Autoencoder (CAE) の 2 つの深層学習器を組み合わせたモデルを用いて学習・生成した. オンラインでセンサ情報を入力しながら次の動作を予測することで, 紐の状態に対応した自律的なタスク遂行が可能となる. 実機を用いた学習実験では, 紐の掛かり方・具合に応じて, 作りこみの動作では対応できない, オンラインでの適切な動作生成が可能であることが確認できた.

キーワード: 柔軟物, 紐結び, 深層学習

Keywords: Deformable Linear Object, Knotting, Deep Neural Networks

1 序論

人の生活環境下でのロボットの活用が増加し, 多様な物体を自律的に扱うことが求められているが, 未だに多くの課題が残る. 特に柔軟物は, 剛体に比べてモデリングが困難である等, 従来の人手による作りこみの手法では扱うことが難しい. 一方, 深層学習を用いたロボットによる柔軟物の操作が注目されている [1][2][3]. ロボットの感覚運動情報を統合して動作予測を行うことで, 現在の環境 (操作物体) 状態に対応する動作を End-to-End に生成可能である. 本研究では線形柔軟物である紐の操作, 中でも「紐結び」動作に着目し, 深層学習を用いた動作生成を行う.

紐結びに関する従来研究にはいくつか課題が残る [4][5]. 先行研究の多くは専用のハンドや, 卓上での紐結びを対象にしており汎用性に乏しい. 先行研究を踏まえ, 実環境下でのロボットによる紐結びに必要な条件として, (1) 空中での結び付け, (2) 双腕 2 指のロボットアーム, (3) 環境変化への対応, の 3 点が挙げられる. また, (3) における紐結び動作特有の課題として, (3a) 複数の結び方への対応, (3b) 掛かり具合による結び動作の変更, の 2 点が考えられる. 本研究では上記の課題に対し, 双腕 2 指ロボットアームによる空中での紐結び動作設計および深層学習を用いたオンライン動作生成を実施・検証する.

2 提案手法

紐結び動作設計: 条件 (1,2) を満たす, 空中での双腕 2 指のロボットアームによる紐結びを行うため, イアンノットをベースにした止め結びおよび蝶結びの動作を設計した. 人間の紐結び動作を分解した手順要素に基づいて, 6

つの簡潔な動作を順番に行う.

1. 紐を左右対象に捻り, 2 指の上に掛ける
2. 左右の紐を近づけ, 十字に交差させる
3. 十字の縦になっているハンドで反対の紐を掴む
4. 十字の横になっているハンドの指先が, 掴む紐に触れるまで移動
5. 紐がハンドの中心付近に来るように移動し, 紐を掴み, 持ち替えを完了する
6. 左右に引き離し, 締結する

上記の動作により, 通常の結び方に比べて蝶結びと止め結びを少ない手順で実現できる.

動作学習モデル: 条件 (3a,3b) に対応するために, [2] を参考に, 高次元のセンサ情報から低次元の特徴量抽出が可能な CAE と, 時系列情報を学習する RNN の一種である LSTM の 2 つの深層学習器を用いたモデルを構築した (図 1). ロボットの運動情報と CAE で抽出した画像特徴量を LSTM の入力にし, 次状態を予測するように学習させることで, オンラインで紐結び動作を生成する.

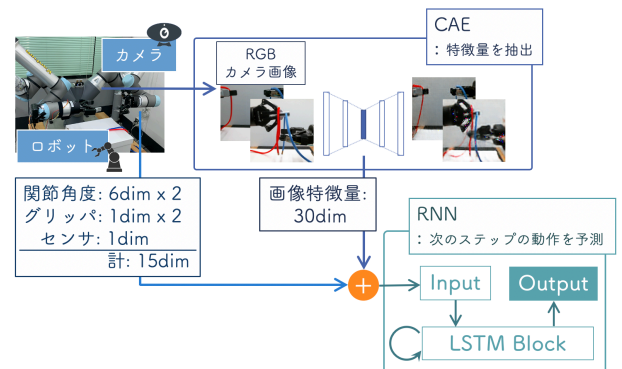


図 1 深層学習モデルの概要

3 実験設定

本研究では、2台のUR5eをY字のボディに取り付けることで、双腕のロボットアームとして使用した。カメラを二本のアームの中央に設置し、また、物体の接触を判定するセンサとして、フォトリフレクタを右腕のハンドの先に取り付けた。実験環境を図2に示す。

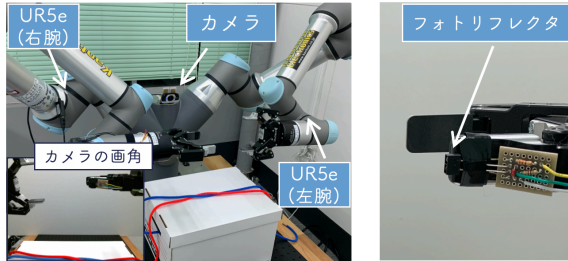


図2 (左) 実験環境 (右) 右腕のハンド拡大図

学習データ作成のため、結び方(止め結び・蝶結び)および紐のかかり方に関する動作プログラムを作成した。作り込み動作による結びが可能であることを確認し、成功した際のデータをモデルの訓練に用いた。モデルの入力として、UR5eの関節角度14次元、フォトリフレクタの出力1次元、CAEを用いてRGB画像から抽出した画像特徴量30次元を結合した45次元の時系列データを用いた。実験では条件(3a,3b)の評価に加え、作り込み動作と比較することで、提案手法の有効性を検証する。

4 実験結果と考察

4.1 複数の結び方への対応

はじめに、複数の結び方への対応能力(条件(3a))を検証するため、止め結びおよび蝶結びの動作、それぞれ15試行分の学習データ、計30試行分のデータを学習させた。訓練後の深層学習モデルを用いたオンライン動作生成例を図3に示す。成功率はそれぞれ、止め結びでは95%(19/20)、蝶結びでは95%(19/20)であった。従って、提案モデルは紐の掛かり方に応じて、単一モデルで止め結びと蝶結びへ分岐・タスク遂行が可能であるといえる。更に色の異なる紐で試した結果、動作が生成されることが分かった。

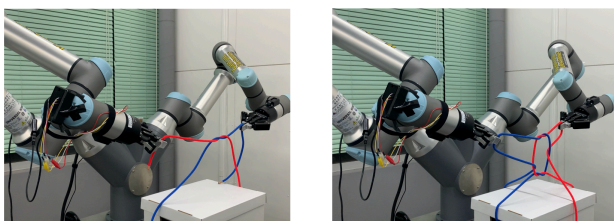


図3 結び動作の様子(左:止め結び, 右:蝶結び)

4.2 紐の掛かり具合への対応

次に、紐の掛かり具合への対応能力(条件(3b))を検証を行った。紐の掛かり具合を並行, 斜めおよび前方の3つのパターン(図4)に分類し、3つの掛かり具合に対応した動作それぞれ15試行分の学習データ、計45試行分のデータを学習させた。3つの作り込みプログラムによる手法と、提案手法による結びの成功率を表1に示す。作り込みプログラムは、紐の掛かり具合によって紐を掴む位置が変化することによって成功率が大きく低下した。学習手法を用いることで、1つのプログラムでそれぞれの紐の掛かり具合に対応した動作の生成が確認できた。更に色の異なる紐で試した結果、動作が生成されることが分かった。



図4 3種類の紐の掛かり具合(左から並行, 斜め, 前方)

表1 各手法と掛かり具合による成功率

手法	並行	斜め	前方
作り込み	223.8%	30.6%	37.5%
(3つのプログラム)	(15/63)	(15/49)	(15/40)
学習	95.0%	95.0%	100.0%
(1つのプログラム)	(19/20)	(19/20)	(20/20)

5 結論

本研究では、深層学習を用いた、双腕2指のロボットアームによる空中での結び動作の生成に取り組んだ。イアンノットをベースに結びの手順を分解して実装することで、止め結びおよび蝶結びの動作を作成した。また、環境変化への対応可能なシステムとするため、RNNとCAEの2つの深層学習を組み合わせたモデルを用いた、ロボットによる自律的な結び動作生成を行った。実験の結果、紐の掛かり方や具合に応じて、オンラインでの適切な動作生成が可能であると確認できた。

参考文献

- [1] P. C. Yang, K. Sasaki, K. Suzuki, K. Kase, S. Sugano, and T. Ogata. Repeatable folding task by humanoid robot worker using deep learning. In *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 2, pp. 397–403, 2016.
- [2] K. Suzuki, H. Mori, and T. Ogata. Motion switching with sensory and instruction signals by designing dynamical systems using deep neural network. *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 3, pp. 3481–3488, 2018.
- [3] P. Sundaresan et al. Learning rope manipulation policies using dense object descriptors trained on synthetic depth data. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA)*, 2020.
- [4] M. Inaba and H. Inoue. Hand eye coordination in rope handling. *Journal of the Robotics Society of Japan*, Vol. 3, No. 6, pp. 538–547, 1985.
- [5] Atsushi Seo et al. Study on tying of a deformable band-shaped object by a dual arm robot. In *IEEE/SICE International Symposium on System Integration(SII)*, p. 79–84, 2019.