

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2017

課題番号：26700024

研究課題名(和文) 布製品の能動操作による布の知識表現と操作技能の自動獲得

研究課題名(英文) Automatic acquisition of knowledge representation and manipulation by active manipulation of cloth products

研究代表者

山崎 公俊 (YAMAZAKI, Kimitoshi)

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：00521254

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の成果は主に二つある。一つは、操作に伴う布の形状変化を予測する仕組みを提案したことである。従来、布のふるまいを予測できる一般的なモデルは実現が困難であったが、本研究では、比較的単純な形状の布製品を対象にした場合ではあるものの、解決策の例を示した。もう一つの成果は、布製品の操作方法をロボットに自動で獲得させる仕組みを構築したことである。シャツの折り畳みを例としてとりあげ、この実現のために、動作計画手法と強化学習手法を組み合わせた新たな動作獲得の枠組みを提案した。ロボットアームの構成に適した操作軌道を、人間が布を畳む様子を参考にして自動で生成することを可能にした。

研究成果の概要(英文)：There are two main results of this study. One is to propose a mechanism to predict shape change of cloth accompanying operation. Conventionally, it was difficult to define a general model capable of predicting the behavior of cloth, but in this study, we showed an example of solutions, although it was targeted on cloth products of comparatively simple shape. Another achievement is to build a mechanism that allows robots to acquire manipulation methods of cloth products automatically. In order to realize this, we propose a novel movement acquisition framework combining a motion planning method and a reinforcement learning method. The manipulation trajectory suitable for the configuration of the robot arm can be generated automatically by referring to how the human being folds the cloth.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：布の知識表現 布の認識 布の操作 自律型ロボット マニピュレーション

### 1. 研究開始当初の背景

生活環境には様々な布製品が存在しており、我々は日々それらに関連した作業を行っている。そのため従来から、布製品に関わる作業を自動機械に代替させることを目指した研究開発が進んでいる。

従来手法の基本方針として、「センサデータに対して重なりが良くなるようにモデルを変形させる」もしくは「センサデータを初期値として、それに局所変位を生じさせることにより所望の形状へ収束させる」といった位置合わせ処理の考え方が用いられる。自動機械に布製品を操作させる課題においては三次元形状は重要な情報であるため、布の形状を明らかにしようとする従来の方針は正統的であると思われる。しかしながら、展開されていない布への対応可能性が低かったり、処理時間がかかるなどの問題があった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、人間の動作に近い軽快さをもって布製品を操作するために、上記の問題点を解決する新たな方式を確立することである。そのために、布の知識表現、布の状態認識、操作技能の獲得について研究し、ロボットによる布製品の操作を実用に近づける。

### 3. 研究の方法

大きく3つ項目について研究を進めた。

- (1) ロボットが持つべき布の知識表現：本研究では可変形状モデルのような形状ベースのモデルは利用しない。代わりとなる知識表現として、多種の布製品・多様な形状状態を事前に計測しておき、そこで得られたセンサデータから抽出した特徴量を用いる。従前の研究では、布地やシワに着目した特徴量が布製品の種別により有用であることを示したが、布地やシワは布の形状状態とも相関があるとみられる。また、別の研究では、時系列画像から布の動きを密なオプティカルフロー情報として抽出し、それに基づいて20程度の形状状態をオンラインで分類した。これらの経験をもとに新たな特徴量を提案・検証する。そして、多種の布製品・多様な形状状態を多数の特徴量の集まりとして記録し、知識表現を得る。
- (2) 操作前・操作中の布の状態認識：本研究では三次元距離画像センサと高解像度カメラを利用し、これらから得た時系列センサデータを用いて布製品の知識を生成する。布の状態認識の研究では、現在のセンサデータから特徴量を算出し、それに似た特徴量を知識の中から検索する処理を基本として、手法提案を行っていく。ただし、正確かつ効率的に認識を行うには、起こりうる状態遷移を考慮したり、布製品の特定部位にのみ着目して特徴量を求めるなど様々な工夫が必

要であり、重要な検討項目である。一方で、布製品操作のために布とロボットの接触点を定める研究も行う。これは比較的高精度な処理が要求されるため、三次元距離データを直接利用して接触部位を決める方法を採用。知識として抽象化されたデータ(特徴量)に対し、接触部位を推定するために必要な情報を埋め込む方法を提案・検証する。

- (3) ロボットによる能動操作を通じた知識の蓄積と整理：布の知識表現を得るために、(1)で述べたように多くのセンサデータをあらかじめ得ておく必要があり、この作業をすべて人手で行うと多大な手間がかかる。そこで、ロボットに布製品を操作させ、そこで得られるセンサデータから知識表現を得る方法を研究する。このため、(i)布の端を摘みあげる、(ii)振動を与えて絡みを取り除く、(iii)布のフチに沿って指を滑らせて展開する、などの基本動作の研究を行う。そして、基本動作の組み合わせによって様々な布操作を可能にする。(1)の成果によって記述される布の状態と、そのときに加えた操作とを関連付けることで、「布製品そのものの知識」と「操作のための知識」を蓄積していく。

### 4. 研究成果

主な成果は二つある。一つは、操作に伴う布の形状変化を予測する仕組みを提案し、実機実験により検証したことである。従来、布のふるまいを予測できる一般的なモデルは実現が困難であったが、本研究の成果は、対象とした布製品の形状が比較的単純ではあるものの、この課題の解決策の一つとなるものである。

提案手法は、3次元ボクセル表現を入出力にとる畳み込みニューラルネットワークと、その中間部分に挿入した全結合ニューラルネットワークからなる。この全結合部分にロボットからの操作入力をとれるようにする。このネットワークを利用することで、ある形状状態に対しある操作を加えると、布がどのような形状に変化するかを予測することを可能にした。

また、この構造を利用した作業計画法を提案した。すなわち、現在の布製品の形状を入力として与え、所望の形状を出力として与えると、入力状態から出力状態への遷移を可能とする操作方法を自動で計画する。提案手法の特徴的なところは、全結合層の部分を用いて、複数段階の操作を計画することができるようになったことである。すなわち、何度か折り畳まないと目標形状へ到達しないような場合でも、提案手法は計画することができる。これは、操作に伴う布の形状変化を一般的な知識として表現できたことによるものであり、従来手法と一線を画す新たなアプローチになったと考えている。

上述の手法を、矩形の布製品の折り畳み作業へ適用し、実ロボットを用いた性能評価をおこなった。ここで課題となるのは、学習データをどのように用意するかである。提案手法は多層のニューラルネットワークの構造であるため、大量の学習データを必要とする。そこで、物理シミュレーションで収集したデータと、実機で収集したデータをブレンドして学習させることとした。これにより、実機でデータ収集をおこなう負荷を抑えながら、実環境で機能する計画器を構築することができた。なお、実機のデータ収集を容易におこなうシステムの開発もおこない、負荷を減らすことにも成功した。

もう一つの成果は、布製品の操作方法をロボットに自動で獲得させる仕組みを構築したことである。シャツの折り畳みを例としてとりあげ、人間が胸に当てて畳む動作をロボットで再現することを課題とした。この実現のために、動作計画手法と強化学習手法を組み合わせた新たな動作獲得の枠組みを提案し、ロボットアームの構成に適切な軌道を、人間が畳む布の形状変化を参考にして自動で生成することが可能になった。

提案手法では、Q-learning, PILCO などの強化学習の手法を布製品を畳む課題にアレンジしている。また、探索空間を削減するために、RRT などの動作計画手法を取り入れている。折り畳み作業をいくつかのステップに分け、各ステップごとに適切な手法とその組み合わせを選択することで、現実的な探索時間で適切な操作を獲得させることに成功した。一方で、布の状態だけでなく、人間が布を折りたたむときの腕の姿勢変化に着目することも重要であることを発見し、人の姿勢認識を取り入れる方法も提案した。例えば、布を折りたたむ過程で、畳んでいる最中の布を片方の腕にかける動作があるとする。この動作をロボットで再現するには、人間の腕がどのような姿勢状態にあるのかを参考にする必要がある。そこで、布製品を操作している人間の関節位置の変移を検出し、それを参考にしてロボットの腕姿勢を探索する方法を提案した。これにより、布製品を腕にかける動作を自動化することが可能になり、従来研究と比較して布製品操作の多様性を高めることができた。

## 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 8 件)

- [1] Daisuke Tanaka, Solvi Arnold, Kimitoshi Yamazaki: “EMD Net: An Encode-Manipulate-Decode Network for Cloth Manipulation,” IEEE ICRA RA-letter, DOI: 10.1109/LRA.2018.2800122, 2018. (査読有)
- [2] Kimitoshi Yamazaki: “A method of

classifying crumpled clothing based on image features derived from clothing fabrics and wrinkles,” Autonomous Robots, Volume 41, Issue 4, pp 865-879, 2017. (査読有)

- [3] 山崎公俊: 「自律型ロボットによる布製品の認識と操作」計測と制御 第 56 巻, 第 10 号, 2017.
- [4] Kimitoshi Yamazaki: “A method of classifying crumpled clothing based on image features derived from clothing fabrics and wrinkles,” Autonomous Robots, Volume 41, Issue 4, pp 865-879, 2017. (査読有)
- [5] Hiroyuki Yuba, Solvi Arnold, Kimitoshi Yamazaki: “Unfolding of a rectangular cloth from unarranged starting shapes by a Dual-Armed robot with a mechanism for managing recognition error and uncertainty,” Advanced Robotics, Vol.31, Issue 10, pp. 544-556, <http://dx.doi.org/10.1080/01691864.2017.1285722>, 2017.(査読有)
- [6] Kimitoshi Yamazaki, Ryosuke Oya, Kotaro Nagahama, Kei Okada and Masayuki Inaba: “Bottom Dressing by a Dual-arm Robot Using a Clothing State Estimation Based on Dynamic Shape Changes,” International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 13, Issue 5, DOI: 10.5772/61930, 2016. (査読有)
- [7] 弓場寛之, 山崎公俊: 「単腕ロボットによる巻き込み防止器具を用いた矩形布生地を展開」, システム制御情報学会誌, 28, No. 6, pp.267-274, 2015. (査読有)
- [8] Kimitoshi Yamazaki: “A method of grasp point selection from an item of clothing using hem element relations,” Advanced Robotics, Vol. 29, No. 1, pp.13-24, 2014. (査読有)

〔学会発表〕(計 9 件)

- [1] Kimitoshi Yamazaki: “Selection of Grasp Points of Cloth Product on a Table Based on Shape Classification Feature”, IEEE International Conference on Information and Automation, pp. 136-141, 2017.
- [2] Yosuke Koishihara, Solvi Arnold, Kimitoshi Yamazaki, Takamitsu Matsubara: “Hanging Work of T-Shirt in Consideration of Deformability and Stretchability”, IEEE International Conference on Information and Automation, pp. 130-135, 2017.
- [3] Nahum Alvarez, Kimitoshi Yamazaki: “An Interactive Simulator for Deformable Linear Objects Manipulation Planning,” in Proc. of 2016 IEEE International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots, pp. 259-264, 2016.
- [4] Solvi Arnold and Kimitoshi Yamazaki: “Implicit Policies for Deformable Object

- Manipulation with Arbitrary Start and End States: A Novel Evolutionary Approach,”in Proc. of 2016 IEEE Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 1776-1781, 2016.
- [5] Kimitoshi Yamazaki: “Instance Recognition of Clumped Clothing Using Image Features Focusing on Clothing Fabrics and Wrinkles,” in Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp.1102-1108, 2015.
- [6] Hiroyuki Yuba, Solvi Arnold and Kimitoshi Yamazaki: “Unfolding of a Rectangular Cloth Based on Action Selection Depending on Recognition Uncertainty,” in Proc. of IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 623-628, 2015.
- [7] Kimitoshi Yamazaki, Ryosuke Oya, Kotaro Nagahama, Kei Okada and Masayuki Inaba: “Bottom Dressing by a Life-Sized Humanoid Robot Provided Failure Detection and Recovery Functions,” in Proc. of IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp.564-570, 2014.
- [8] Hiroyuki Yuba, Kimitoshi Yamazaki: “Unfolding an Item of Rectangular Clothing Using a Single Arm and an Assistant Instrument,” in Proc. of IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 571-576, 2014.
- [9] Kimitoshi Yamazaki: “Grasping Point Selection on an Item of Crumpled Clothing Based on Relational Shape Description,” in Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.3123-3128, 2014.

〔産業財産権〕

出願状況（計 1 件）

名称：操作方法生成システム

発明者：Solvi ARNOLD, 山崎公俊

権利者：信州大学

番号：2017-174241

出願年月日：2017 年 9 月 11 日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ais.shinshu-u.ac.jp/ja>

6. 研究組織

(1)研究代表者

山崎 公俊 (YAMAZAKI, Kimitoshi)

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：00521254