

解説

# データベースに基づくロボットの作業動作計画

Database Driven Robotic Task Motion Planning

原田 研介<sup>\*1\*2</sup> 万 偉偉<sup>\*1\*2</sup> ラミレス・イクセル<sup>\*1\*2</sup> 山野辺 夏樹<sup>\*2</sup> 辻 徳生<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup>大阪大学大学院基礎工学研究科 <sup>\*2</sup>産業技術総合研究所 <sup>\*3</sup>金沢大学理工学研究科

Kensuke Harada<sup>\*1\*2</sup>, Weiwei Wan<sup>\*1\*2</sup>, Ixchel G. Ramirez-Alpizar<sup>\*1\*2</sup>, Natsuki Yamanobe<sup>\*2</sup> and Tokuo Tsuji<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup>Graduate School of Engineering Science <sup>\*2</sup>National Inst. of Advanced Industrial Science and Technology <sup>\*3</sup>Institute of Science and Engineering, Kanazawa University

## 1. はじめに

ヒトは手を使って様々な作業を行うことが可能である。ここで、少子高齢化の進行に伴って、ヒトが行っている作業をロボットで代替することに対する要求は増々大きくなっており、ロボットによりヒトと同等な作業性能を実現することは自動運転などと並んでロボット工学の大きな研究課題の一つとなっている。一般に手は脳の出張所と言われているように、ヒトの手の機能を解明することは、ヒトの知能を解明することに他ならない。しかしながら、ヒトが行っている作業をロボットで代替するためには、何気ない動作の背後にある種々の潜在的な知識を陽に記述しなくてはならないため、ロボットで動作を行わせようとして初めて、その困難さに気づくことも多い。

本稿は、NEDO 次世代人工知能・ロボット中核技術開発における、ロボットの作業動作生成に関する著者らのグループの取り組みについて紹介する。ヒトが手を用いて知的に作業を行うことができるのは、過去に同様な、あるいは類似した作業を行った記憶を呼び起こし、呼び起こした手の動作を適応的に修正するメカニズムに起因すると考え、ロボットの動作に関するデータを何等かの形でデータベースに蓄積し、必要なときにダウンロードするフレームワークを構築している。Fig. 1 に示すように、ロボットが単純なピック・アンド・ブレースだけでなく、多様な動作を計画することができるように、ヒトの作業動作やロボット教示データを蓄積し、ロボットは作業時にデータを問い合わせ、作業情報を取得することで作業を実行する。そして、作業の成否など、作業を実行した結果のフィードバックを行う。本稿では、このフレームワークにおける取組の現状について紹介する。

## 2. データのフォーマット

様々な状況における、作業、ロボットの作業動作、把持対象物などに関するデータを蓄積するためのフォーマット、

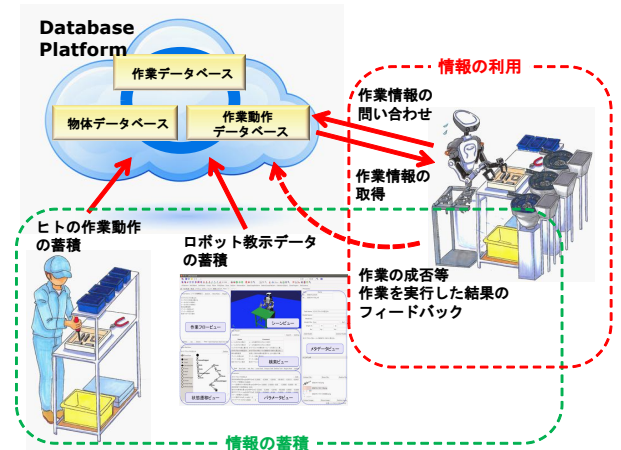


図1 データベースを含むロボットの動作計画

ならびにこのフォーマットに適合したデータを生成したり、データを読み込むためのソフトウェアツールを作成した [5]. Fig.2 に示すように、データを再利用可能なまとまりのある単位としての「動作」、作業工程や操作対象の物体とタスクを実現するための動作列や条件を表す「タスク」、ならびに複数のタスクから構成される一連の作業全体である「作業」の3層構造として考え、それぞれの階層に対して YAML 形式のデータフォーマットを定義し、Choreonoid をフレームワークとするソフトウェアツールを構築した。

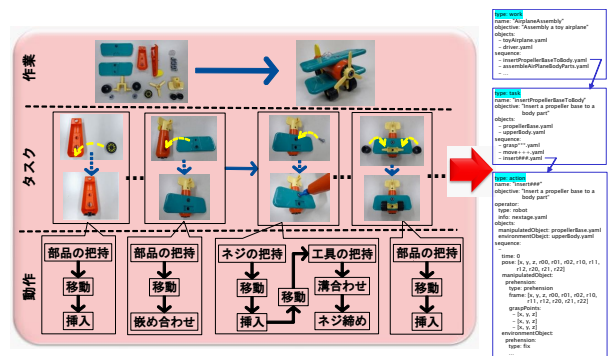


図2 データのフォーマット

次に、このフォーマットに従ってデータを登録し、蓄積したデータを GUI で確認したり、データを検索して呼び出す機能を実装したソフトウェアを構築した。また、外部プログラムから呼び出しを行うことを想定した API も備える

原稿受付

キーワード:

<sup>\*1</sup>豊中市待兼山町

<sup>\*2</sup>江東区青海

<sup>\*3</sup>金沢市角間町

<sup>\*1</sup>Machikaneyama-cho, Toyonaka

<sup>\*2</sup>Aomi, Koto-ku

<sup>\*3</sup>Kadoma-cho, Kanazawa

こととした。Fig. 3 に示すように、本ソフトウェアのウィンドウは動作検索エリアや検索結果、対象物やタスクなど様々な情報を表示するエリアを有している。また、上記ソフトウェアを拡張する形で、Choreonoid をフレームワークとして構築している。以上のソフトウェアは、フリーウェアとして公開するための準備を進めている。

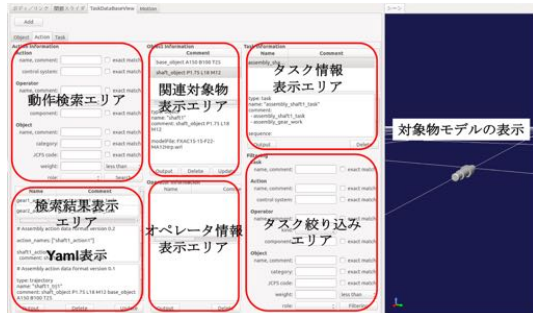


図 3 データの登録・検索を行うソフトウェア

### 3. ヒト作業動作の獲得

次に、データの蓄積をするために、ヒトの作業動作の獲得を行う手法について説明する [1]。ここでは、作業動作を獲得するために、ヒトの作業動作を時間軸上でセグメンテーションした上で、行っている作業の種類を識別する。この問題に対して、ヒトが把持している対象物の情報を利用した手法を提案している。Fig. 4 は、木製の玩具をヒトが組み立てている模様を示している。ヒトはデータグローブを装着し、指の関節角度を得ることが可能である。また、それ以外にも手首の位置と対象物の位置を得ている。例えば、ヒトが把持する対象物がボルト、車輪、ナットであれば、それぞれに対応した隠れマルコフモデルを構築し、これにより動作の識別を行う。把持対象物の情報を利用することで、動作のバリエーションを絞り込むことができ、認識の成功率を上げることが可能である。なお、このようにして獲得した作業動作の一部を公開するために準備を行っているところである。

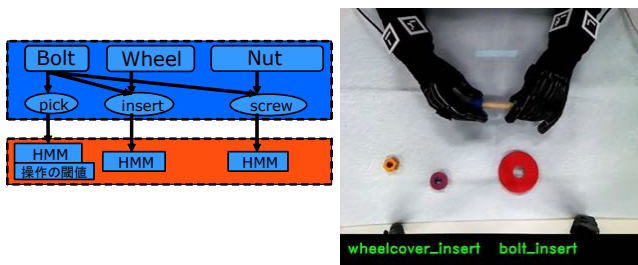


図 4 実演に基づくヒトの作業動作の獲得

また、ヒトの作業動作を間接的に獲得する手法として、仮想環境内で組立作業を行う手法についても研究を行っている [4]。Fig. 5 に実験の様態を示す。ヒトは HMD を装着し、更にヒトの手を状態を得ることができるよう HMD に Leap Motion Sensor を取り付けている。親指と人差し指

の距離に応じて仮想環境内のロボットに取り付けたグリップが開閉するようにし、更にヒトの腕の動きに仮想環境内のロボットの動きが同期するようにした。これにより仮想環境内の双腕ロボットが対象物を把持して組み付けを行う。また、仮想環境で得られた情報に基づいて、ロボットが実際の環境で組み立て作業を行う。

さらに、作業の単位で教示データを再利用可能にするような動作教示のフレームワークに関する研究も行っている [3]。

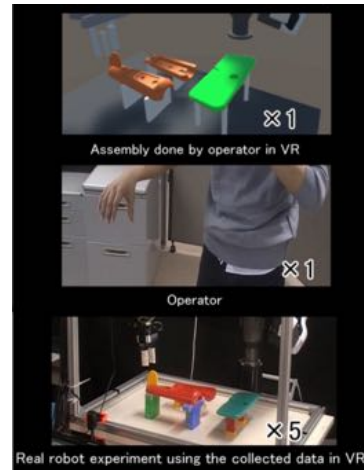


図 5 仮想環境を用いたヒトの作業動作の獲得

### 4. ロボット作業動作計画

次に、蓄積されたデータに基づくロボットの作業動作計画の例を紹介する。まず、一つのハンドで一つの対象物を把持する姿勢として多くのものを仮定することができるが、これらの組み合わせに応じて把持姿勢をデータベース化する。さらに、IK 関数、ロボットやハンドのモデルなど作業動作計画に必要なものを全てを MySQL によりリレーショナルデータベースとし、ロボットの作業動作計画を行う際にこれら呼び出して使うフレームワークを構築した [6] [7]。この手法の概要を Fig. 6 に示す。

次に、より器用な動作を実現するため、作業動作のデータベースを利用することを考える。まず、組立作業手順を示すグラフ構造において、作業動作データを利用しなくては実現できない動作が存在する場合、グラフのエッジと作業動作とを結びつけることを考える。これにより、作業動作計画でこのグラフを探索する際に、該当するエッジが解軌道に含まれると作業動作のデータが呼び出され、このデータに基づいてロボットが動作する。この模様を Fig. 7 に示す。ここでは、ネジを締める動作を作業動作のデータとして蓄えておき、ロボットがネジを締める動作を実行する際に、作業動作のデータを利用してロボットが動作している。

次に、作業動作のデータベースを構築しても、データの数には限りがある。ここで、未知の対象物に対して、作業動作データにアノテーションを行った上で、先に述べた検索ツールを用いて類似したデータを呼び出し、これを修正することでロボットに適用する [8]。この修正を適用した実

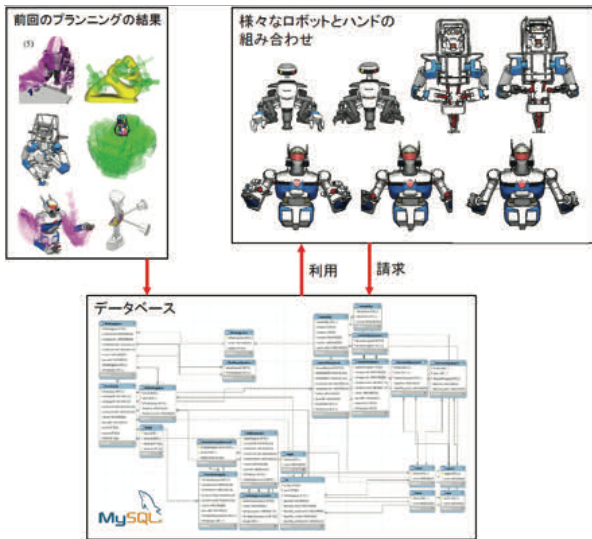


図6 データベースを含むロボットの動作計画

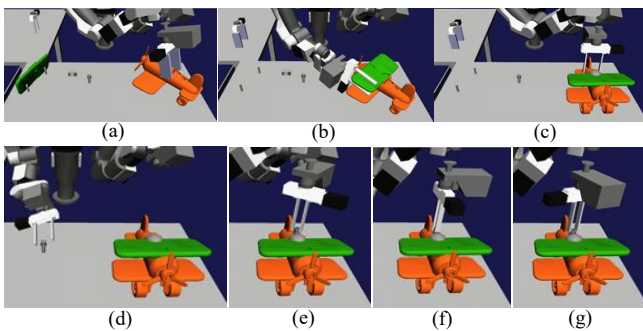


図7 作業動作データを用いた組立作業計画の例

験結果を Fig. 8 に示す。ここでは、ネジのピッチや長さが作業データに蓄積しているものと違ったネジを、作業データを修正することで適用している。

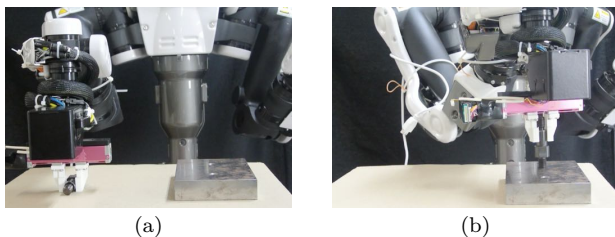


図8 タスクデータの修正と再利用

最後に、作業動作のデータベースに蓄積された動作をそのまま適用しても、部品同士で干渉が生じて動作がうまくいかないことが想定される。そこで、作業動作データを利用した動作計画の枠組みについても研究を行っている [9]。Fig. 9 には、ロボットが L 字型をした対象物を把持し、これを狭がい部に挿入する作業の様態を示している。

## 5. おわりに

本稿では、NEDO 次世代人工知能・ロボット中核技術開発における、ロボットの作業動作生成に関する著者らのグループの取り組みについて紹介した。ここで、本研究はボトム

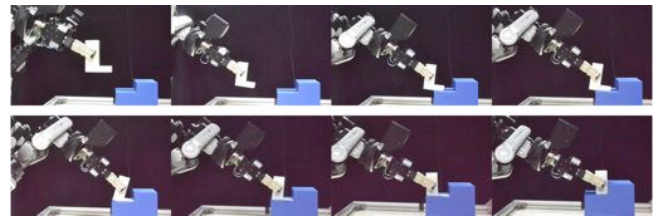


図9 L字型対象物の組み付け

アップ的なアプローチでロボットの適応的な作業動作を構築した。このアプローチは強化学習などの機械学習 [10] [11] を用いた作業動作生成と対局を成すアプローチである。強化学習によるアプローチとの接点を見出すことは興味深い課題であり、現在研究を行っているところである。また、文献 [12] では、ヒトの巧みさを実現するためのメカニズムについて詳細な解説が行われている。本研究の枠組みを発展させ、よりヒトの巧みさを自然な形で実現するような作業動作計画の枠組みについて、更なる研究が必要である。

謝辞 本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務として行われている。

## 参考文献

- [1] K. Fukuda, I. Ramirez-Alpizar, N. Yamanobe, D. Petit, K. Nagata, and K. Harada, "Recognition of Assembly Tasks Based on the Actions Associated to the Manipulated Objects," Proc. of 2019 IEEE/SICE Int. Symposium on System Integrations (SII), pp. 193-198, 2019.
- [2] K. Harada, N. Yamanobe, W. Wan, K. Nagata, I. Ramirez-Alpizar, and T. Tsuji, "Motion-Data Driven Grasp/Assembly Planner," Proc. of the 2019 Int. Conf. on Artificial Life and Robotics, pp.1-4, 2019.
- [3] R. Hanai, K. Harada, I. Hara, and N. Ando, "Design of Robot Programming Software for the Systematic Reuse of Teaching Data Including Environment Model," ROBOMECH J., vol. 5, no. 21, 2018.
- [4] D. Petit, I. Ramirez-Alpizar, W. Kamei, Q. He, and K. Harada, "Realizing an Assembly Task through Virtual Capture," Proc. of IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, 2019.
- [5] 山野辺, 辻, 原田, 永田, 花井, 万, ラミレス, "作業動作生成のためのクラウドデータベースの構築," 日本ロボット学会学術講演会, 2016.
- [6] W. Wan, K. Harada, "Regrasp Planning using 10,000s of Grasps," Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 1929-1936, 2017.
- [7] W. Wan, H. Igawa, K. Harada, H. Onda, K. Nagata, and N. Yamanobe, "A Regrasp Planning Component for Object Reorientation," Autonomous Robots, 2018.
- [8] 池田, 山野辺, 花井, 辻, Petit, ラミレス, 万, 原田, データベースを利用した適応的な組立動作生成システムの提案, 第36回日本ロボット学会学術講演会, 2018.
- [9] Y. Wang, K. Harada, and W. Wan, "Motion Planning through Demonstration to Deal with Complex Motions in Assembly Process", Proc. of IEEE-RAS Int. Conf. on Humanoid Robots, 2019 (Submitted).
- [10] G. Schoettler, A. Nair, J. Luo, S. Bahl, J. A. Ojea, E. Solowjow, S. Levine, "Deep Reinforcement Learning for Industrial Insertion Tasks with Visual Inputs and Natural Reward Signals", ICML 2019 Workshop RL4RealLife, 2019.
- [11] P.-C. Yang, K. Sasaki, K. Suzuki, K. Kase, S. Sugano, and T. Ogata, "Repeatable Folding Task by Humanoid Robot Worker Using Deep Learning", Robotics and Automation Letters, VOL. 2, NO. 2, 2017.
- [12] ベルンシュタイン, "デクステリティ巧みさとその発達", 金子書房, 2003.

**原田研介 (Kensuke Harada)**

1997年京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年広島大学工学部助手。2002年産業技術総合研究所知能システム研究部門研究員、2005年から1年間Stanford大客員研究員、2013年同研究所タスクビジョン研究グループ長、2016年大阪大学大学院基礎工学研究科教授、同年産業技術総合研究所特定フェロー、現在に至る。ロボットハンドによる把持や操りに関する研究に従事。IEEE、計測自動制御学会、日本機械学会、システム制御情報学会の会員。博士(工学)。(日本ロボット学会正会員)

**万偉偉 (Weiwei Wan)**

2013年東京大学大学院工学研情報理工学系研究科博士後期課程修了。同年日本学術振興会特別研究員(PD)。同年カーネギーメロン大学客員研究員。2015年産業技術総合研究所知能システム研究部門研究員、2017年大阪大学大学院基礎工学研究科准教授、現在に至る。運動計画やロボットによる操りに関する研究に従事。IEEEの会員。博士(工学)。

**ラミレス・イクシェル (Ixchel G. Ramirez-Alpizar)**

2013年大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年産業技術総合研究所知能システム研究部門特別研究員、2014-2015年間に1年間フランス国立科学研究センター(CNRS)客員ポストドク研究員、2016年大阪大学大学院基礎工学研究科助教、2018年産業技術総合研究所主任研究員、現在に至る。運動計画やロボットによる操りに関する研究に従事。IEEE、日本機械学会の会員。博士(工学)。(日本ロボット学会正会員)

**山野辺夏樹 (Natsuki Yamanobe)**

2007年東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻博士課程修了。同年、産業技術総合研究所入所。2013年から同研究所 知能システム研究部門 主任研究員、現在に至る。2015年カールスルーエ工科大学客員研究員。技能教示、組立・把持動作計画、ロボット遠隔操作システムに関する研究に従事。IEEE、日本機械学会、計測自動制御学会の会員。博士(工学)。(日本ロボット学会正会員)

**辻徳生 (Tokuo Tsuji)**

2005年九州大学大学院システム情報科学府知能システム学専攻博士課程修了。同年広島大学大学院工学研究科、COE研究員。2008年産業技術総合研究所知能システム研究部門、産総研特別研究員。2011年九州大学大学院システム情報科学研究院情報知能工学部門助教。2016年金沢大学理工学研究域機械工学系准教授、現在に至る。多指ハンド、画像処理の研究に従事。博士(工学)。日本ロボット学会、電子情報通信学会、日本機械学会の会員。(日本ロボット学会正会員)