深層学習を利用したコミュニケーションロボットに関する研究

研究代表者　尾形　哲也
（基幹理工学部 表現工学科　教授）

１．研究課題

本研究では、深層学習によるロボット行動学習と言語学習を融合研究、コミュニケーション研究を発展させることにより、環境認知や言語処理といったコミュニケーションに必要となる高次認知能力を自律的に獲得することを目的とする。最終的には実ロボットを用いて、人間との協働を必要とするような実作業で評価を行う。

２．主な研究成果

2.1　ジッパー開け動作学習

日立製作所との共同研究として、ロボットによるジッパー開けタスクを行なった。本作業は一定方向への力制御だけでなく、操作中の動作軌道の適応が必要になるという点で非常に挑戦的な課題であるが、提案手法により 30 回程度の学習データによって、状態の異なるバッグのジッパーを開けることが可能となった。（図 1）

2.2　ボタン留め

これまでの衣服畳み、紐結び、ジッパー開けに続く柔軟素材のハンドリングタスクとして、人間支援につながるとともに従来の事例がない挑戦的なタスクとして、ロボットのボタン留めを取り上げた。ボタンエイドという専用器具を用い、従来のロボット手法、また提案する学習手法によりタスクを部分的に実現した。（図 2）

2.3　複雑形状表面の擦り動作学習

表面擦り動作は、清掃などの日常タスクの基礎となると当時に、力触覚と運動の統合が必要となる難易度の高いタスクである。本研究では、特に従来の制御法では対処の難しい、複雑形状表面の擦り動作について、力覚と運動をそれぞれ時間スケールの異なる深層学習モデルで学習後、統合する手法を提案し有効性を示した。

2.4　言語と運等の統合学習

現在、大規模自然言語コーパスを事前学習した深層学習モデルが、翻訳、対話に限らず多様な応用が試みられている。本研究では、事前研究として、この事前言語モデルと大規模人間のモーションキャプチャデータとの統合学習をおこなった。その結果、曖昧な言語指示に対する適切な動作生成のみならず、提示動作を多様な言語表現で説明することができるようになった。

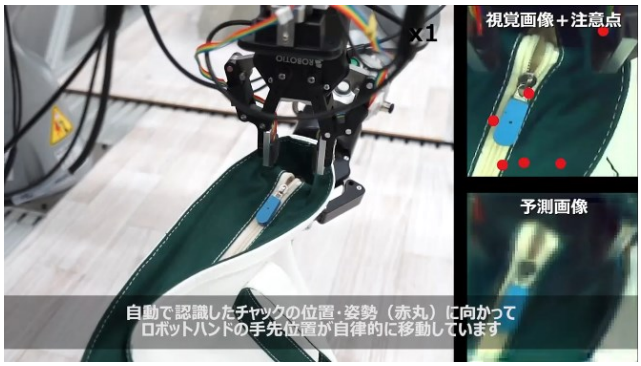

図 1 ロボットによるジッパー開け学習

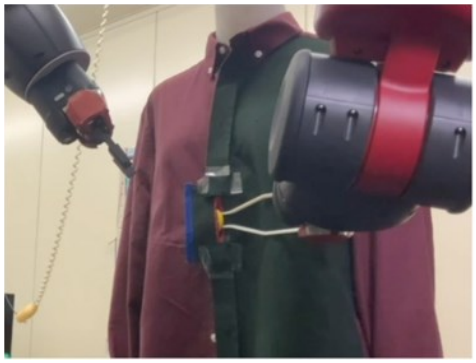

図 2 ロボットによるボタン留め学習

３．共同研究者

森　裕紀（次世代ロボット研究機構・主任研究員）
菅　佑樹（理工総合研究所・客員次席研究員）

４．研究業績

4.1　学術論文

[1] Satoshi Funabashi, Tomoki Isobe, Fei Hongyi, Atsumu Hiramoto, Alexander Schmitz, Shigeki Sugano, and Tetsuya Ogata: Multi-Fingered In-Hand Manipulation with Various Object Properties Using Graph Convolutional Networks and Distributed Tactile Sensors, IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L) (IF: 3.741), Volume: 7, Issue: 2, pp. 2102 – 2109, Jan. 2022. DOI: 10.1109/LRA.2022.3142417

[2] Namiko Saito, Takumi Shimizu, Tetsuya Ogata, and Shigeki Sugano: Utilization of Image/Force/Tactile Sensor Data for Object-shape-oriented Manipulation: Wiping Objects with Turning Back Motions and Occlusion, IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L) (IF: 3.741), Volume: 7, Issue: 2, pp. 968-975, December 2021. DOI: 10.1109/LRA.2021.3136657

[3] Namiko Saito, Tetsuya Ogata, Hiroki Mori, Shingo Murata, and Shigeki Sugano: Tool-use Model to Reproduce the Goal Situations Considering Relationship among Tools, Objects, Actions and Effects Using Multimodal Deep Neural Networks, Frontiers in Robotics and AI, Sept., 2021. DOI: 10.3389/frobt.2021.748716

[4] Momomi Kanamura, Kanata Suzuki, Yuki Suga, and Tetsuya Ogata: Development of a Basic Educational Kit for Robotic System with Deep Neural Networks, Sensors (IF: 3.275), Volume 21, No. 11, pp. 3804-3824, May 31st, 2021. DOI: 10.3390/s21113804

[5] Hideyuki Ichiwara, Hiroshi Ito, Kenjiro Yamamoto, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Contact-Rich Manipulation of a Flexible Object based on Deep Predictive Learning using Vision and Tactility, Proceedings of 2022 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2022), accepted, (acceptance rate 43.1%), Philadelphia, USA, May 23 – 27, 2022.

[6] Satoshi Funabashi, Tomoki Isobe, Fei Hongyi, Atsumu Hiramoto, Alexander Schmitz, Shigeki Sugano, and Tetsuya Ogata: Multi-Fingered In-Hand Manipulation with Various Object Properties Using Graph Convolutional Networks and Distributed Tactile Sensors, Proceedings of 2022 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2022), accepted, (acceptance rate 43.1%), Philadelphia, USA, May 23 – 27, 2022.

[7] Namiko Saito, Takumi Shimizu, Tetsuya Ogata, and Shigeki Sugano: Utilization of Image/Force/Tactile Sensor Data for Object-shape-oriented Manipulation, Proceedings of 2022 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2022), accepted, (acceptance rate 43.1%), Philadelphia, USA, May 23 – 27, 2022.
[8] Hiroshi Ito, Hideyuki Ichiwara, Kenjiro Yamamoto, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Integrated Learning of Robot Motion and Sentences: Real-Time Prediction of Grasping Motion and Attention based on Language Instructions, Proceedings of 2022 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2022), accepted, (acceptance rate 43.1%), Philadelphia, USA, May 23 – 27, 2022.
[9] André Yuji Yasutomi, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Curriculum-based Offline Network Training for Improvement of Peg-in-hole Task Performance for Holes in Concrete, Proceeding of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2022), accepted, Online, Jan. 9-12, 2022.
[10] Wakana Fujii, Kanata Suzuki, Tomoki Ando, Ai Tateishi, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Buttoning Task with a Dual-Arm Robot: An Exploratory Study on a Marker-based Algorithmic Method and Marker-less Machine Learning Methods, Proceeding of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2022), accepted, Online, Jan. 9-12, 2022.
[11] Hiroshi Ito, Takumi Kurata, and Tetsuya Ogata: Sensory-Motor Learning for Simultaneous Control of Motion and Force: Generating Rubbing Motion against Uneven Object, Proceeding of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2022), accepted, Online, Jan. 9-12, 2022.
[12] Kanata Suzuki, Momomi Kanamura, Yuki Suga, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: In-air Knotting of Rope using Dual-Arm Robot based on Deep Learning, Proceedings of 2021 IEEE/RAS International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2021), Accepted, (acceptance rate 45%), Prague, Czech Republic, Online, September 27-October 1, 2021. SICE International Young Authors Award (SIYA-IROS2021)
[13] Minori Toyoda, Kanata Suzuki, Hiroki Mori, Yoshihiko Hayashi, and Tetsuya Ogata: Embodying pre-trained word embeddings through robot actions, Proceedings of 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2021), accepted, (acceptance rate 48.0%), Xi'an, China, May 30 – June 5, 2021.
[14] Namiko Saito, Tetsuya Ogata, Satoshi Funabashi, Hiroki Mori, and Shigeki Sugano: How to select and use tools? : Active Perception of Target Objects Using Multimodal Deep Learning, Proceedings of 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2021), accepted, (acceptance rate 48.0%), Xi'an, China, May 30 – June 5, 2021.
[15] Kanata Suzuki, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Compensation for undefined behaviors during robot task execution by switching controllers depending on embedded dynamics in RNN, Proceedings of 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2021), accepted, (acceptance rate 48.0%), Xi'an, China, May 30 – June 5, 2021.
[16] André Yuji Yasutomi, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: A Peg-in-hole Task Strategy for Holes in Concrete, Proceedings of 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2021), accepted, (acceptance rate 48.0%), Xi'an, China, May 30 – June 5, 2021.

4.2　総説・著書

[1] 尾形哲也：実世界ロボットの運動-言語の統合学習と内部表現，日本ロボット学会誌，Vol. 39, No. 5, pp. 417-420, 2021 年 6 月 22 日．DOI: 10.7210/jrsj.39.417

4.3　招待講演

[1] 基調講演＆パネル : AI ロボットが拓く新しい社会, 第２回合同シンポジウム 『総合知による社会課題の解決：スマート社会を導く物流システム・AI ロボット技術』, オンライン, 2022 年 3 月 28 日

[2] 講演 : 身体知（Embodied Intelligence）とロボット知能 -人文社会科学との協働への期待-, 「人と情報テクノロジーの共生のための人工知能の哲学 2.0 の構築」総括シンポジウム, JST/RISTEX「人と情報のエコシステム」研究開発領域, オンライン, 2022 年 3 月 27 日

[3] Invited Talk & Panel: Deep Predictive Learning for Embodied Intelligence, Embodied Intelligence Conference 2022, online, March 23rd, 2022.

[4] 招待講演＆パネル： 深層予測学習に基づく実ロボットの知能化, 理化学研究所 GRP シンポジウム 2022, 国際電気通信基礎技術研究所 (ATR), 2022 年 3 月 18 日

[5] 特別講演：深層予測学習によるロボットの知能化コンセプトと事例, DENSO Robotics Expo (DREx2022), 京セラドーム, 2022 年 3 月 17 日

[6] 講演：深層予測学習を用いたロボットの実世界適応，科学技術未来戦略ワークショップ「現実空間を認識し、臨機応変に対応できるロボットの実現に向けて」, 文部科学省科学技術振興機構（JST）CRDS，オンライン，2022 年 2 月 24 日

[7] コメンテーター：NVIDIA Partner Solution Connect – Day 2 テーマ：エッジ AI ソリューション, 2022 年 2 月 8 日

[8] 会長特別企画講演： 深層予測学習を用いたロボットの操作スキル学習, 第 10 回日本婦人科ロボット手術学会, オンライン, 2022 年 1 月 29 日

[9] 講演：AI Robotics の現在から未来への展望, 未来の医療を創る”医療人 2030″育成プロジェクト【第 2 部】 医療人 2030 育成プログラム, オンライン, 2021 年 12 月 11 日

[10] 招待講演：深層予測学習による身体知の実現に向けて ― データから経験の学習へ, 人工知能学会合同研究会, オンライン, 2021 年 11 月 27 日

[11] 基調講演：AI ロボットの社会実装とエッジ活用, ARC Processor “Virtual” Summit 2021, オンライン, 2021 年 11 月 12 日

[12] コーディネーター, 講演：スマートロボットによる環境との柔軟なインタラクションの実現, 第 8 回 AI×ロボティクス(2) AI とロボットの共進化, 情報処理学会連続セミナー, オンライン, 2021 年 10 月 14 日

[13] Invited Talk: Toward Embodied Intelligence with Predictive Learning – From Data to Experiences, 5th Workshop on Semantic Policy and Action Representations for Autonomous Robots, IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2021), Online, Sept. 27th, 2021.

[14] 講演：深層予測学習によるロボット動作学習と AI ロボットの共進化のコンセプト, オープンフォーラム 12：ムーンショット型研究開発（目標３）自ら学習・行動し人と共生する AI ロボット 日本ロボット学会学術講演会, 2021 年 9 月 11 日

[15] 基調講演 : 深層学習によるロボット知能の革新，市村賞受賞記念フォーラム 2021，市村清新技術財団，名古屋マリオットアソシアホテル，2021 年 7 月 16 日.

[16] Invited Talk: Deep Predictive Learning: Real-Time Motion Adaptation for Prediction Error Minimization, Virtual Workshop on Robot Learning in Real-world Applications: Beyond Proof of Concept, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2021), Online, May 31st, 2021.

[17] 講演：ディープラーニングが革新するロボットの知能化と産業，AI・人工知能 EXPO，東京ビッグサイト，2021 年 4 月 9 日

4.4　受賞・表彰

2021 年　Best paper award in Cognitive Robotics, IEEE ICRA2021.（2021 年 6 月）
2021 年　Best RoboCup paper award Nomination Finalist, IEEE/RSJ IROS2021.（2021 年 9 月）
2022 年　Best paper award Nomination Finalist, IEEE/SICE SII2022.（2022 年 1 月）
2022 年　Best paper award, IEEE/SICE SII2022.（2022 年 1 月）

4.5　学会および社会的活動

科学技術振興機構 ACT-I 研究「情報と未来」領域アドバイザー
学技術振興機構さきがけ研究「社会デザイン」領域アドバイザー
科学技術振興機構 ACT-X 研究「AI 活用学問革新」領域アドバイザー
日本ディープラーニング協会理事
全国高等専門学校ディープラーニングコンテスト DCON 技術審査員
発達神経科学会理事
Senior Editor of Advanced Robotics
Action Editor of Neural Networks Editorial Board
Senior Editor of IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L)
Coordinator (Japanese side), MIRAI 2.0 workshop, Artificial Intelligence TEG
Special Chief Editor, Robot Learning and Evolution, Frontiers in Robotics & AI

５．研究活動の課題と展望

今後は，柔軟物ハンドリング、ボタン付、運動言語統合学習の機能拡張を行うと同時に、内閣府プロジェクトムーンショット、および NEDO の支援を受けつつ、全体システムの統合を目指す。また理工総合研究所における、企業との共同研究を拡大していくことを検討する。