

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進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 衣類のハンドリング

ミュンヘン工科大学と共同でタオルハンドリングに関する研究を拡大し、ムーンショットプロジェクトで開発中の人型ロボット AIREC の双腕アーム協調による“スーツのハンガー掛け”タスクを実現した。これを国際ロボット展 2023 で発表し、西村経済産業大臣（当時）の訪問を受けるなど、複数のメディアを通して成果発信を行なった。このタスク学習には、6 月に公開した深層予測学習モデルのオープンソースライブラリ EIPL (Embodied Intelligence with Deep Predictive Learning) が活用されている。

2.2

ロボットのタスクは複数の短いサブタスクに分割され、環境変化に基づく分割が一般的である。各サブタスクの外部状態認識は重要であり、ロボット学習に補助的な入力として活用されるが、部分的な観測情報から全体の外部状態を認識することは困難である。本研究では、産業技術総合研究所との共同で外部状態とその信頼度を学習、予測し、ロボット動作生成に活用する手法を提案した。提案手法の有効性はシミュレーション環境や実ロボット環境でのマニピュレーションタスクにおいて効果が示された。

2.3 感覚減衰の減弱に関する計算論的認知モデル研究

感覚減衰は、自己生成刺激が外部刺激より弱く感じられる現象で、行為と感覚の時空間的な解離により弱まる。本研究では、自由エネルギー原理に基づく神経回路モデルを用いて、感覚予測生成のシミュレーション実験を行なった。結果として、モデルは時空間的な解離を認識し、神経応答を調整することで感覚減衰の再現を実現した。これにより、感覚減衰とその減衰メカニズムに関する理解が深まると期待される。



図4 国際ロボット展 2023 におけるハンガー掛けタスクと
西村経済産業大臣（当時）訪問時対応

3. 共同研究者

森 裕紀（次世代ロボット研究機構・客員主任研究員）

4. 研究業績

4.1 学術論文（査読付のみ）

- [1] Shardul Kulkarni, Satoshi Funabashi, Alexander Schmitz, Tetsuya Ogata, and Shigeki Sugano: Tactile Object Property Recognition with Geodesical Spatial Graph Edge Features and Multi-Thread Graph Convolutional Network, IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L) (IF: 4.321), accepted, Jan. 2024.
- [2] Hideyuki Ichiwara, Hiroshi Ito, Kenjiro Yamamoto, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Modality Attention for Prediction-Based Robot Motion Generation: Improving Interpretability and Robustness of Using Multi-Modality, IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L) (IF: 4.321), pp. 8271 - 8278, October 2023. DOI: 10.1109/LRA.2023.3327654
- [3] Suzuka Harada, Ryoichi Nakajo, Kei Kase, and Tetsuya Ogata: Automatic segmentation of continuous time-series data based on prediction error using deep predictive learning, Proceeding of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2024), accepted, Ha Long, Viet Nam on Jan. 8-11, 2024.
- [4] Hiroto Iino, Kei Kase, Ryoichi Nakajo, Naoya Chiba, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Generating long-horizon task actions by leveraging predictions of environmental states, Proceeding of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2024), accepted, Ha Long, Viet Nam on Jan. 8-11, 2024.
- [5] Kenjiro Yamamoto, Hiroshi Ito, Hideyuki Ichiwara, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Real-time Motion Generation and Data Augmentation for Grasping Moving Objects with Dynamic Speed and Position Changes, Proceeding of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2024), accepted, Ha Long, Viet Nam on Jan. 8-11, 2024. Best Paper Award Finalist.
- [6] Kazuki Hori, Kanata Suzuki, and Tetsuya Ogata: Interactively Robot Action Planning with Uncertainty Analysis and Active Questioning by Large Language Model, Proceeding of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2024), accepted, Ha Long, Viet Nam on Jan. 8-11, 2024.
- [7] Ryutaro Suzuki, Hayato Idei, Yuichi Yamashita, and Tetsuya Ogata: Hierarchical Variational Recurrent Neural Network Modeling of Sensory Attenuation with Temporal Delay in Action-Outcome, Proceeding of 13th IEEE International Conference on Development and Learning 2023 (ICDL), accepted, Macau, November 9-11, China, 2023.
- [8] Ryo Hanai, Yukiyasu Domae, Ixchel Georgina Ramirez-Alpizar, Bruno Leme, and Tetsuya Ogata: Force Map: Learning to Predict Contact Force Distribution from Vision, Proceedings of 2023 IEEE/RAS

International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2023), Accepted, (acceptance rate 43.3%), Detroit, US, October 1-5, 2023.

[9] André Yuji Yasutomi, Hideyuki Ichiwara, Hiroshi Ito, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Visual Spatial Attention and Proprioceptive Data-Driven Reinforcement Learning for Robust Peg-in-Hole Task Under Variable Conditions, Proceedings of 2023 IEEE/RAS International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2023), Accepted, (acceptance rate 43.3%), Detroit, US, October 1-5, 2023.

[10] Kanata Suzuki, Yuya Kamiwano, Naoya Chiba, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Multi-Time step-Ahead Prediction with Mixture of Experts for Embodied Question Answering, ICANN 2023, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), (Proceedings of the 32nd International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2023)), accepted as full paper and oral presentation, Crete, Greece, September 26-29, 2023.

[11] André Yuji Yasutomi, and Tetsuya Ogata: Automatic Action Space Curriculum Learning with Dynamic Per-Step Masking, Proceedings of 2023 IEEE 19th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE2023), accepted, Auckland, New Zealand, August 26 – 30, 2023.

[12] Namiko Saito, Joao Moura, Tetsuya Ogata, Marina Y. Aoyama, Shingo Murata, Shigeki Sugano, and Sethu Vijayakumar: Structured Motion Generation with Predictive Learning: Proposing Subgoal for Long-Horizon Manipulation, Proceedings of 2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2023), accepted, (acceptance rate 43.04%), London, UK, May 29 – June 2, 2023.

[13] Hideyuki Ichiwara, Hiroshi Ito, Kenjiro Yamamoto, Hiroki Mori, and Tetsuya Ogata: Multimodal Time Series Learning of Robots Based on Distributed and Integrated Modalities: Verification with a Simulator and Actual Robots, Proceedings of 2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2023), accepted, (acceptance rate 43.04%), London, UK, May 29 – June 2, 2023.

4.2 総説・著書

[1] 尾形哲也：能動的推論を参考とした実ロボットの動作生成, 人工知能, Vol. 38, No. 6, pp. 805-809, 2023年11月

4.3 招待講演

[1] 尾形哲也, 基調講演：実世界での人間との共生のためのロボット知能へ向けて, CREST「共生インタラクティブ」領域 2023 年度終了課題成果発表シンポジウム, 富士ソフトアキバプラザ, 2024年3月19日

[2] Tetsuya Ogata, Keynote: Enhancing Robot Performance: Deep Predictive Learning for Adaptive Perception and Action, 3rd International Conference on Image Processing and Robotics (ICIPRob2024), Colombo, Sri Lanka, Mar. 9th, 2024.

[3] Tetsuya Ogata, Plenary Talk: Dynamic adaptability in AI with active Inference for real-world robots, The 10th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (SAMCON2024), Kyoto Research Park, Kyoto, Japan, Mar. 4th, 2024.

[4] 尾形哲也, 招待講演：AI ロボットがもたらす技術革新と未来社会, TSC10 周年記念特別セミナー, モノづくり日本会議, NEDO, 赤坂インターシティコンファレンス the AIR, 2024年2月28日

[5] 尾形哲也, 招待講演：多様なロボット動作を可能とする深層予測学習とスマートロボットの開発展望, ロボット・AI シンポジウム 2024 名古屋, 公益財団法人 中部科学技術センター, 名古屋市工業研究所ホール, 2024年2月14日

- [6] Tetsuya Ogata, Keynote: Bridging the Gap: AI's Transition to Real-World Tasks, 4th Nobel Turing Challenge Initiative Workshop, Nihonbashi Life Science HUB (LINK-J), Tokyo, Japan, Feb. 13th, 2024.
- [7] 尾形哲也, 招待講演: 目標3 菅野プロジェクト「一人に一台一生寄り添うスマートロボット」ムーンショット早稲田デー, SCRAMBLE HALL (SHIBUYA QWS 内), 2024年2月13日
- [8] 尾形哲也, 招待講演: 次世代 LLM としての LMM とロボットへの展開, 専門委員会〜生成 AI による日本の産業発展、競争力強化への道筋を考える〜, JATES 科学技術と経済の会, 2024年2月2日
- [9] 尾形哲也, パネリスト: AI: 夢が現実に、夢を未来に ~AI 新世紀~, 公益財団法人栢森情報科学振興財団, 名古屋マリオットアソシアホテル, 2024年1月28日
- [10] 尾形哲也, 基調講演: 生成 AI とロボティクスの融合と展望, 新春 PM セミナー2024, タワーホール船堀, 2024年1月26日
- [11] Tetsuya Ogata, Invited Talk: Deep Learning for Robotics: Enhancing Adaptive Perception and Action through Predictive Models, AROB Organized Session, 29th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB) 29th, Beppu, Japan, Jan. 24th, 2024.
- [12] 尾形哲也, 基調講演 1: 能動的推論と深層予測学習, CAN2024 プレ・キックオフ シンポジウム, オンライン, 2023年12月11日
- [13] 尾形哲也, 特別講演&パネリスト: AI とロボットの融合のための深層予測学習と実装事例, NEDO ロボット・AI フォーラム 2023, 国際ロボット展, 東京ビッグサイト, 2023年11月30日
- [14] Tetsuya Ogata, Invited Talk: International Symposium on Machine Intelligence for Future Society 2023, Waseda University, Nov. 28th, 2023.
- [15] 尾形哲也, 招待講演: 次世代 AI へのアプローチとしての認知発達ロボティクス, 科学技術未来戦略ワークショップ「次世代 AI モデルの研究開発ー技術ブレイクスルーと AIX 哲学ー», 文部科学省科学技術振興機構 (JST) CRDS, オンライン, 2023年11月23日
- [16] 尾形哲也, 講演: 汎用ロボットとサステナビリティ, 早稲田オープン・イノベーション・フォーラム (WOI2023), 早稲田大学, 大隈会館, 2023年11月10日
- [17] 尾形哲也, パネリスト: シンポジウム「コンテンツ生成 AI からみる建築情報学», 建築情報学会, 立命館大学 東京キャンパス, 2023年11月7日
- [18] 尾形哲也, パネリスト: TechFuture -製造業のデジタル革命-, トムソン・ロイター, アンダーズ東京, 2023年11月2日
- [19] Tetsuya Ogata, Invited Talk: Predictive Coding-inspired Robotics: Advancing Adaptability through Deep Predictive Learning, Workshop on World Models and Predictive Coding in Cognitive Robotics, IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2023), Detroit, US, Oct. 5th, 2023.
- [20] Tetsuya Ogata, Keynote: Deep Predictive Learning in Robotics: Optimizing Models for Adaptive Perception and Action, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2023), Huntington Place, Detroit, US, Oct. 4th, 2023
- [21] 尾形哲也, 招待講演: 生成 AI と次世代 AI としてのロボット応用, EWE 三月会 2023年9月例会, 日比谷市政会館, 2023年9月19日
- [22] Tetsuya Ogata, Keynote, Embodied AI with the Concept of Active Inference, International Workshop on Active Inference (IWAI2023), St Peter's Abbey, Ghent, Belgium, Sept. 13th, 2023.
- [23] Tetsuya Ogata, Plenary Talk, Deep Predictive Learning: Empowering Robots for Complex Tasks and Revolutionary Applications, SICE Annual Conference (SICE2023), Mie University, Tsu, Japan, Sept. 7th, 2023.

[24] Tetsuya Ogata, Invited Talk, AI & Robotics for Accessible Intelligent Society, World Artificial Intelligence Conference (WAIC2023), Shanghai Expo Center, Shanghai, China, July 8th, 2023.

[25] Tetsuya Ogata, Plenary Talk: Applications of Deep Predictive Learning for Real-World Robots, The 20th International Conference on Ubiquitous Robotics (UR 2023), Hawaii Conventional Center, Honolulu, US, June 26th, 2023.

[26] 尾形哲也, パネリスト: 脳科学と AI をつなぐ新たなパラダイムの出現〜「自由エネルギー原理」で考える脳の特徴〜, 応用脳科学コンソーシアム キックオフシンポジウム, 東京国際フォーラム, 2023 年 5 月 18 日

[27] 尾形哲也, 招待講演: 深層予測学習のコンセプトと人間操作に基づくロボットスキル学習, U40 委員会企画 技術革新が導く近未来の外科医療, 第 31 回日本医学会総会 2023, 東京国際フォーラム, 2023 年 4 月 23 日

4.4 受賞・表彰

2023 年 文部科学大臣表彰科学技術賞 (研究部門) (2023 年 4 月 19 日)

2023 年 Frontiers of Science Awards, The International Congress for Basic Science (2023 年 7 月 20 日)

2024 年 Best paper award Nomination Finalist, IEEE/SICE SII2024. (2024 年 1 月)

4.5 学会および社会的活動

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 IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L)

Special Chief Editor, Robot Learning and Evolution, Frontiers in Robotics & AI

科学技術振興機構研究開発戦略センター第 1 AI・情報分野委員会委員

NEDO「次世代人工知能・ロボットの中核となるインテグレート技術開発」技術推進委員

科学技術振興機構研究開発戦略センター第 1 AI・情報分野委員会委員

科学技術振興機構 国家戦略分野の若手研究者及び博士後期課程学生の育成事業 (BOOST) 運営委員

文部科学省 科学技術・学術審議会専門委員

など

5. 研究活動の課題と展望

今後は、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、調理、洗濯、掃除、などの家事を軸とした実世界タスク学習と、大規模言語モデルとの統合を通じた、知能の基盤モデル研究を展開する。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。また 2025 年の大阪万博でのデモンストラレーションの準備を進めていく。