

長井 隆行

大阪大学大学院基礎工学研究科
教授
電気通信大学大学院情報理工学研究科
特任教授

記号創発ロボティクスによる人間機械コラボレーション基盤創成

§ 1. 研究成果の概要

本研究課題では、ロボットの持つマルチモーダルなインタラクション機能と最新の人工知能・パターン認識技術、クラウドを中心とするインターネット環境を組み合わせることで、言葉の意味を真に理解し、人間と協働するロボットを実現することを目標としている。2019 年度のグループ毎の研究実施内容は以下の通りである。

長井グループ

ロボットが経験から概念を獲得し、自律的に行動する仕組みは、「世界モデル」で実現可能である。本グループでは、世界モデルを階層ベイズに基づく確率的生成モデルで構成する「統合認知モデル」を開発してきた。2019 年度は、このモデルをさらに深化させ、プランニングや論理的な推論の実現可能性を検討した。また同時に、確率的生成モデルを、深層生成モデルで置き換えることで同等のモデルを実現し、推論速度を大幅に向上できることを示した。さらに表現学習の新しい潮流として、セルフアテンション機構に基づく手法が注目されている。本グループでは、自然言語処理で成功している BERT をベースとした Cross-modal BERT を開発し、強化学習の事前学習モデルとしての有効性を示した。BERT の強化学習への適用は、世界初の試みであり、今後確実に注目されるであろう BERT を基盤とした世界モデルの先駆けとして、世界的な主導権を握ることができると考えている。

谷口グループ

家庭やオフィス環境はその空間独自にロボットが学ぶべき言葉や知識を持っている。ロボットはオンラインかつオンサイトでその環境に適応していかなければならない。SpCoSLAM はそのために

画像、音声、位置情報等をマルチモーダルに統合し、地図生成と語彙獲得をオンライン学習により可能とする機械学習モデルである。しかし、SpCoSLAM は継続的に学習を続けるとそれまでの経験量に比して毎回のアップデートの計算量が線形的に増加するという問題を抱えていた。SpCoSLAM 2.0 はこれを改善した手法であり、効率的な近似と計算アルゴリズムの導入により、毎回のアップデート時の計算量を増加させることなくオンラインで語彙を獲得し続けることができる。これによりオンラインで学習し続ける継続学習が可能となった。

尾形グループ

本年度は、これまで行ってきた深層学習による言語と運動の変換モデル研究を、実際の対話に拡張するための枠組みとして特に音声の深層学習処理を中心とした研究成果を上げた。人間の指示に応じて行動するロボットを目指して、音声言語と行動の関係性をニューラルネットワーク (NN) に獲得させる試みはこれまで、非常に多くあるが、特にロボットが活動するような実世界の音声では、背景雑音、残響による音響信号の歪みなど、動的に変化する環境へ適応する必要がある。そこで、多様な雑音が存在する環境下での音声認識に関する新たな深層学習の手法を提案した。本手法は、CTC (Connectionist Temporal Classification) -注意モデルと呼ばれる従来最も高い性能が出ている手法を、マルチチャンネルの音響信号に拡張し、加えてバッチの再正規化とマルチレベルの言語モデルを組み合わせ高い性能を実現した。本研究の一部は、ジョージア工科大学との共同研究であり、音声認識のトップカンファレンスの一つである EUSIPCO 2019 に採択されるなど、国際的に高い評価を得た。

岩橋グループ

人間機械コラボレーションのための基本数理モデルの検討を行った。モデルは、情報理論、制御理論、ゲーム理論、物理学を融合しようとするものである。昨年度に提案した Physics Projection と統合することで、感覚運動情報処理から言語処理までを結合することを目指している。Autonomous Vehicle Control や Human-Robot Physical Interaction のタスクへの適用を試みた。

杉浦グループ

現状の生活支援ロボットは、曖昧な指示文(「緑のスポンジ取って」等)の理解精度が低いため不便という問題を持つ。本年度はこれまでに開発した手法を拡張し、BERT および Multilayer Bi-LSTM によるモデル化を行う手法 Multimodal Target-source Classification Model (MTCM)を構築した。標準データセット PFN-PIC において、ベースライン手法(Hatori, IEEE ICRA 2018 Best Paper)の精度を超える性能を MTCM は達成した。この成果は、IEEE RA-L/IROS2019 に採択された。

稲邑グループ

画像やモーションキャプチャー情報に基づく動作認識処理において、動作概念を用いることで誤認識の低減や、部分的な情報からの動作認識精度向上を目指し、二つのアプローチから研究を行った。一つ目のアプローチは、異なる動作であるものの、関節角度レベルの動作パターンだけを見ると区別が難しいような動作に対し、時系列情報の中に存在する文脈を用いて誤認識を防ぐと

いうものである。二つ目のアプローチは、動作認識に用いる情報として動作パターンだけでなく、動作の対象となっている道具、および動作を行っている場所の情報も含めて動作認識処理を行う方法である。大量の動作データベースに基づいて学習を行うのではなく、1回の観察のみで動作の概念を学習する手法を実現し、従来手法の HMM では認識率約 38%だった条件で、認識率 90%を達成した。

岡田グループ

World Robot Summit 2020 競技会におけるパートナーロボットチャレンジ競技のルールを、米国 NIST およびトヨタ自動車と共同で、サービスロボット開発の標準テストメソッド (STM) とする研究を開始した。競技 (家庭の片づけタスク) を 500 以上の要素に分解し、それぞれの要素の難易度、汎用性などをポイント化した。STM は非常にシンプルかつ再現が可能な方法で家庭用ロボットの到達技能レベルを定量化 (数値化) することで、開発したロボットの現時点での技能レベルと向上度合いを可視化できる画期的かつ合理的なメソッドになる。

【代表的な原著論文】

1. Miyazawa Kazuki, Horii Takato, Aoki Tatsuya, Nagai Takayuki, “Integrated Cognitive Architecture for Robot Learning of Action and Language,” *Frontiers in Robotics and AI*, vol.6, 2019
2. Akira Taniguchi, Yoshinobu Hagiwara, Tadahiro Taniguchi, Tetsunari Inamura, “Improved and Scalable Online Learning of Spatial Concepts and Language Models with Mappin,” *Autonomous Robots*, Feb. 2020.
3. Hiroyuki Okada, Tetsunari Inamura, Kazuyoshi Wada, “What Competitions were Conducted in the Service Categories of the World Robot Summit?” *Advanced Robotics Vol. 33*, 2019 – Issue 17: Special Issue on Real World Application, pp.900–910, 2019

§ 2. 研究実施体制

(1)「概念班長井」グループ

① 研究代表者:長井 隆行 (大阪大学大学院基礎工学研究科 教授/電気通信大学大学院情報理工学研究科 特任教授)

② 研究項目

・クラウド上に展開された階層ベイズによる概念の階層構造獲得モデルの創出

(2)「概念班谷口」グループ

① 主たる共同研究者:谷口 忠大 (立命館大学情報理工学部 教授)

② 研究項目

・空間・言語統合モデルの階層的知識獲得基盤創成

(3)「概念班尾形」グループ

① 主たる共同研究者:尾形 哲也 (早稲田大学理工学術院 教授)

② 研究項目

・深層学習モデルおよび再帰結合型神経回路モデルによるロボットの運動感覚, 言語の自己組織化・統合学習

(4)「信念班岩橋」グループ

① 主たる共同研究者:岩橋 直人 (岡山県立大学情報工学部 教授)

② 研究項目

・クラウドを用いた階層的相互信念モデルの創出と利活用

(5)「信念班杉浦」グループ

① 主たる共同研究者:杉浦 孔明 (情報通信研究機構先進的音声翻訳研究開発推進センター 主任研究員)

② 研究項目

・ヒト・モノ・コト知識の統合解析に基づくIoTコミュニケーション基盤の構築

(6)「応用班稲邑」グループ

① 主たる共同研究者:稲邑 哲也 (国立情報学研究所情報学プリンシプル研究系 准教授)

② 研究項目

・概念獲得に向けた大規模長時間のマルチモーダル対話を可能とするクラウド型 VR プラットフォームの構築

(7)「応用班岡田」グループ

① 主たる共同研究者:岡田 浩之 (玉川大学工学部 教授)

② 研究項目

- ・人とのコラボレーションを通して家庭内タスクを実現するサービスロボットの構築およびロボカップ@ホーム競技に参加することによる成果の実践的評価