

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：25301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K11359

研究課題名（和文）ユーザ主導型対話を通したロボットによる記号創発学習

研究課題名（英文）Symbol Emergence by Robots Through User-Driven Dialogues

研究代表者

岩橋 直人（Iwahashi, Naot）

岡山県立大学・情報工学部・教授

研究者番号：90394999

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、ロボットによる記号創発学習法において、ユーザに課せられていたインタラクションにおける大きな負荷を低減し、ユーザが自然な対話を通してロボットへの教示が行えるようにするため、ユーザ主導型対話を通したロボットによる記号創発学習法を開発することである。ユーザによる記号の教示とロボットによる学習を、ユーザとロボットの共同行為と捉え、ユーザの共同行為プランニングに基づいて生成したアクションから、ロボットがそのプランの目的、ここでは記号の意味を理解する方法を実現する基礎的分析および基本技術の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間-ロボットインタラクションの研究分野は、大規模言語モデルを活用することで、大きく進展し、日常環境で人間と共存するロボットの実現がますます近づいている。このような状況下で、本研究成果がもたらす、動作環境における人間による教示を通じたロボットの記号的知識の学習は、ロボットに人間に対する適応性を大幅に向上させ、その重要性が一層高まっている。本研究成果は、日常環境で人間と共存するロボットの普及に大きく貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop a symbolic emergent learning method for robots through user-initiated interaction. This aims to reduce the substantial interaction burden on the user and to enable natural teaching of the robot by the user. The teaching of symbols by the user and the learning of symbols by the robot are considered a joint action between the user and the robot. We have successfully developed the foundational analysis and fundamental technology to enable the robot to understand the purpose of its plans - specifically, the meaning of symbols - from actions generated based on the user's joint action planning.

研究分野：人工知能

キーワード：共同行為 ロボット 言語獲得

1. 研究開始当初の背景

- (1) 生活支援ロボットでは、ユーザとの対話機能は、複雑な指示操作を苦手とする多くのユーザにとって必要不可欠な極めて重要な機能である。しかし、現状のロボット対話技術は必要なレベルにまったく到達していない。ユーザが安心できるコミュニケーションの実現には、ロボットが、ユーザの生活空間や生活習慣に応じて、ユーザの曖昧な指示発話を適切に理解して行動できる言語理解の機能が必要である。しかし、従来の対話技術では、あらかじめ固定的で閉じた記号系が与えられ、記号の意味は知覚運動情報とは無関係にその内部で循環的に定義されているため、この機能は実現できない。
- (2) 現在、この極めて重要な課題を解決するため、実世界におけるユーザとのインタラクションを通して、ロボットに知覚運動情報に基づいた言語や実世界概念を学習させる研究(記号創発ロボティクス)が世界的に盛んである。
- (3) しかし、従来のすべての記号創発学習法は、ユーザに対して非常に制約のある特定のインタラクション手順に従うことを強いている。たとえば、『ロボットに物体を動かしているところを見せながら、ほぼ同時にその動作についての記述をする発話を行う。これを繰り返す。』といった手順である。このような不自然な繰り返し手順に従うことがユーザにとって大きな負荷となっていた。ユーザがロボットと何気ない日常的な会話を交わしながら、その合間にユーザが自由なタイミングでロボットが知らない言葉や実世界概念を教示できる、ユーザに負荷が掛からない、ロボットとの自然な対話を通じた記号創発学習—ユーザ主導型対話を通じたロボットによる記号創発学習—が希求されている。

2. 研究の目的

- (1) 本研究の目的は、ロボットによる記号創発学習法において、ユーザに課せられていたインタラクションにおける大きな負荷を低減するために、ユーザが自然な対話を通してロボットへの教示が行えるようにするための新しい手法、ユーザ主導型対話を通じたロボットによる記号創発学習法、を開発することである。

3. 研究の方法

- (1) 研究開始当初、三つの対話モジュールを適応的に切り替えるアプローチ(図1)を提案し、研究を推進した。ほぼ予定通り順調に成果を上げることができた。そのような状況において、大規模言語モデルの革新的な進歩を活用することで、目的をさらに高いレベルで達成することが可能であると判断し、新たなアプローチで研究を進めた。
- (2) 新たなアプローチの概要を図2に示す。子どもの言語獲得は、自然なコミュニケーションにおいて社会的コンテキストに埋め込まれた言葉の意味を見出して学習する過程である。ユーザ主導型対話を通じたロボットの記号創発学習において、この特性を反映させるために、ユーザによる記号の教示とロボットによる学習を、ユーザとロボットの共同行為と捉えた。具体的に、ユーザの共同行為プランニングに基づいて生成したアクションから、ロボットがそのプランの目的、ここでは記号の意味を理解する方法を開発した。

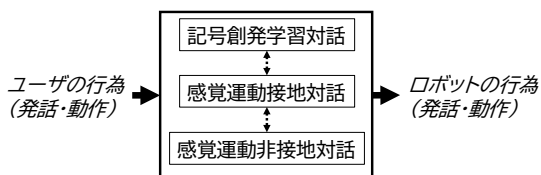


図1 対話モジュール切り替えアプローチ

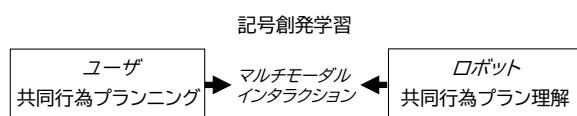


図2 共同行為プランニングアプローチ

4. 研究成果

共同行為プランニングアプローチに基づいて、ユーザ主導型対話を通じたロボットによる記号創発学習を実現するための研究成果は以下のとおりである。本アプローチに基づいて、記号創発学習ロボットを構築するための基礎的な知見を得るとともに、必要な基盤技術の開発に成功した。今後は、全体システムを構築し、被験者実験によってさらに分析を進める予定である。

#### (1) 共同行為プランニング手法 [1, 2]

物理世界シミュレータと大規模言語モデルを用いて、物理的な共同行為をプランニングする手法を開発した。本手法は、記号創発学習に適用可能である。



図 3 開発した物理シミュレータ

#### (2) 共同行為の数理 [7]

物理的および記号的な共同行為に適用可能な数理モデルを構築した。この数理モデルが共同行為プランニング手法の基盤を形成している。

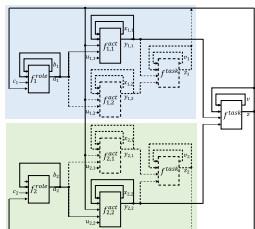


図 4 共同行為の数理モデル

#### (3) 共同行為の認知 [6]

共同行為に対する認知特性を被験者実験によって分析した。具体的には、共同行為における、パーソナリティと認知と行動の個人内および個人間の関係性を明らかにした。本研究の成果は、記号創発学習における自然性の向上に大きく貢献する。

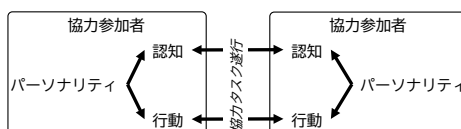


図 5 共同行為の認知

#### (4) 共同行為の中の発話の意味とタイミング [5]

共同行為の中で交わされる言葉の意味の状況依存性ならびにタイミングについて被験者実験を通じて分析した。本研究の成果は、記号創発学習における自然性の向上に寄与する。



図 6 被験者実験

#### (5) Physics Projection [8]

共同行為プランニングのためのメンタルシミュレーションを物理シミュレータで行う手法を開発した。

(6) コレクティブ LLM ダイナミクスの分析 [3, 4]

共同行為プランニングにおける大規模言語モデルの利用に関する基盤として、大規模言語モデルの集団的な振舞いの基本特性を分析した。

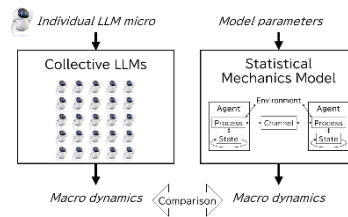


図 7 LLM ダイナミクス分析フレームワーク

以上の研究成果により、ロボットの記号創発学習に関する新たな知見と技術が得られた。本研究は、日常環境で人間と共存するロボットの実現に大きく貢献するものである。

<引用文献>

1. 相良 陸成, 寺尾 光一郎, 岩橋 直人: ネステッド・フィジカル・ビリーフ・モデルと大規模言語モデルによる共同行為プランニング, 電子情報通信学会 思考と言語研究会, 2024.
2. 寺尾 光一郎, 相良 陸成, 岩橋 直人: ネステッド・フィジカル・ビリーフ・モデルと大規模言語モデルによる心の理論に基づく内省的共同行為プランニング, 日本ロボット学会学術講演会, 2024.
3. 寺尾光一郎, 岩橋直人: コレクティブ LLMs のマイクロマクロリンクの多様性, 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会, 2024.
4. 岩橋直人, 寺尾光一郎: コレクティブ LLM ダイナミクスの数理分析, 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会, 2024.
5. 岩橋直人, 相良陸成, 田口亮, 船越孝太郎: 動的計画共有と共同運動主体感モデルに基づく身体的共同行為における調整のための会話の分析, 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会, 2023.
6. 岩橋直人, 笹倉晴景, 古家祐介, 榎本幸八, 趙敏廷, 樟本千里, 澤田陽一, 坂野純子: 協力におけるパーソナリティと認知と行動: 個人内および個人分析, 日本認知科学会第40回大会, 2023.
7. 岩橋直人: 協力する知能をつくる 一運転から言語獲得までを統べる協力の数理, 人工知能を用いた五感・認知機能の可視化とメカニズム解明, 2021.
8. Naoto Iwahashi: Physics Projection, International Conference on Awareness Science and Technology, 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 相良 陸成, 寺尾 光一郎, 岩橋 直人
2. 発表標題 ネステッド・フィジカル・ピリフ・モデルと大規模言語モデルによる共同行為プランニング
3. 学会等名 電子情報通信学会 思考と言語研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 寺尾 光一郎, 相良 陸成, 岩橋 直人
2. 発表標題 ネステッド・フィジカル・ピリフ・モデルと大規模言語モデルによる心の理論に基づく内省的共同行為プランニング
3. 学会等名 日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Naoto Iwahashi
2. 発表標題 Micro Coupling and Macro Dynamics of Cooperative Intelligence
3. 学会等名 International Workshop on Functional Modelling and Safety Related Issues of Socio-Technical Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 寺尾光一郎, 岩橋直人
2. 発表標題 コレクティブLLMsのマイクロマクロリンクの多様性
3. 学会等名 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岩橋直人, 寺尾光一郎
2. 発表標題 コレクティブLLMダイナミクスの数理分析
3. 学会等名 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岩橋直人, 相良陸成, 田口亮, 船越孝太郎
2. 発表標題 動的計画共有と共同運動主体感モデルに基づく身体的共同行為における調整のための会話の分析
3. 学会等名 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩橋直人, 笹倉晴景, 古家祐介, 櫻本幸八, 趙敏廷, 樟本千里, 澤田陽一, 坂野純子
2. 発表標題 協力におけるパーソナリティと認知と行動: 個人内および個人分析
3. 学会等名 日本認知科学会第40会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Naito, N. Hirota, Y. Hagiwara, N. Iwahashi, T. Taniguchi
2. 発表標題 Action-Feasibility-Based Pragmatic Understanding of Ambiguous by Service Robots
3. 学会等名 IEEE/SICE Int. Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Iwahashi, K. Funakoshi
2. 発表標題 Cooperative Behavior Interactive Simulator RoCoCo for Dialogue Research
3. 学会等名 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naoto Iwahasahi
2. 発表標題 Finding an Equilibrium Trellis in Dynamics
3. 学会等名 The 35th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshiki Takatsu, Masahide Imaki, Naoto Iwahashi
2. 発表標題 Mathematical Analysis of Physical Cooperative Behavior of Humans and Machines using RoCoCo
3. 学会等名 The 35th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoto Iwahasahi
2. 発表標題 Theory of Cooperation: Cognitive and Mathematical Principles of Cooperation and Their Application
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Nishie, Y. Takatsu, Naoto Iwahashi
2. 発表標題 Physics-Engine-Based Robot Planning in Physics Projection
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoto Iwahashi, Hiroyuki Okada, Kotaro Funakoshi
2. 発表標題 Theory of Cooperation: Exploring Human and Machine Capabilities
3. 学会等名 日本認知科学学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoto Iwahashi, Hideaki Negoro, Soichi Kawano
2. 発表標題 Physics Projection: Intelligence with Physical World
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoto Iwahashi
2. 発表標題 Physics Projection
3. 学会等名 International Conference on Awareness Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Naoto Iwahashi
2. 発表標題 Equilibrium Selective Role Coordination for Autonomous Driving
3. 学会等名 International Conference on Awareness Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoto Iwahashi
2. 発表標題 Physics Projection
3. 学会等名 Asia Pacific Society for Computing and Information Technology Annual Meeting (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 執筆者:64名、技術情報協会	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 533
3. 書名 人工知能を用いた五感・認知機能の可視化とメカニズム解明(「協力する知能をつくる 運転から言語獲得までを統べる協力の数理」を担当)	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 新規物体操作ロボットの制御プログラムおよび制御方法、ならびに、新規物体操作システム	発明者 岩橋直人、川野壮一	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、P6921448	取得年 2021年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

人工知能学研究室  
<https://www-ai1.c.oka-pu.ac.jp/index-j.html>  
[www-ai1.c.oka-pu.ac.jp](http://www-ai1.c.oka-pu.ac.jp)

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------