

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25330260

研究課題名(和文) 認知発達メカニズムの構成的解明：今何を学習すべきかを学習する

研究課題名(英文) Constructive clarification of cognitive development mechanism: Learning what to learn now

研究代表者

岡 夏樹 (Oka, Natsuki)

京都工芸繊維大学・情報工学・人間科学系・教授

研究者番号：20362585

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：極めて小規模のタスクに限った範囲ではあるが、内容語(事物、性質、動作などを指し示す語)とその意味の対応をモジュールで学習し、これと並行して、機能語(文法的な関係を表す語)に従って各モジュールからの出力を組み合わせる方法を学習することにより、対話相手の発話の意味に沿った動作や内部処理(何を学習すべきかも含む)を、ロボットが学習できることを示した。これは、それを実現するための知識を与えた結果であるとは言え、知識の自己創出的な獲得(獲得した知識が次の知識の獲得を促進すること)の最初の一步を実現したことを意味する。

研究成果の概要(英文)：Although it is within the scope of very small tasks, by learning the correspondence between content words and their meanings in modules and concurrently learning how to combine outputs from each module according to function words, we showed that the robot can learn motions and internal processing, which contains what to learn, according to the meaning of the dialogue partner's utterance. Though this is the result of giving knowledge to realize it, it means that the first step of the self-creation of knowledge, acquisition of knowledge to promote acquisition of next knowledge, has been realized.

研究分野：認知科学

キーワード：学習の学習 認知発達 言語獲得 機能語 ヒューマンエージェントインタラクション 機械学習 人工知能

1. 研究開始当初の背景

幼児のように言葉の意味獲得や行動獲得ができるシステムを作る研究が、近年、多数行われているが、その大多数は、入力文の単語への分割、モノや動作の名前、単語列への意味役割の付与、文法などの中から、指定した単一の学習対象を学習するものであった。最近になって、複数の学習対象を扱う研究が増え始めている。しかし、それらの研究では、いつ何を学習すべきかはあらかじめ決められており、固定された複数の学習対象を、それぞれの学習のためにあらかじめ用意したアルゴリズムで別々に学習する方法が採られてきた [Roy 02, Yu & Ballard 04, Iwahashi 08, Gold et al. 09, 田口ら 10]。単一のアーキテクチャで自己組織的に学習する方法 [Sugita & Tani 04] も提案されたが、そこでも何を学習するかはあらかじめ決められ、固定されていた。これに対して、本研究では、今何を学習すべきかを学習して判断できるようにすること、その学習すべきことを学習することを目指す。たとえば、ロボットが「ミカンだよ」と声をかけられたとしよう。「よ」は新情報を知らせる働きを持つ。ロボットが目の前のミカンを見ているときにこう言われたとすると、今やるべきことは、ミカンの名前を覚えることであろう。一方、ミカンの方を見ていないときにこう言われたとすると、ミカンを見つけ、注目し、必要な行動や情報処理（ミカンがそこにあることを記憶する等）を実行すべきだろう。日常場面における、このような状況依存性の高い、いつ何をすべきかの知識をロボットにあらかじめすべて与えておくことは難しいことがこれまでの人工知能の研究で明らかになってきた。したがって、このような知識をインタラクションを通して獲得することは、工学的に価値がある。認知発達研究の観点からも、「今何を学習すべきかを含めた学習」ができるメカニズムの解明は、発達にとって本質的な自己創出性（獲得した知識が次の段階の知識獲得を可能にする）の鍵となる重要な課題である。報告者が提案し研究を進めてきた、モジュールの組換えを基本演算とする計算機構 MORE においては、何を学習すべきかを学習することは、ある状況でどのようにモジュールを組み合わせればよいかを学習することである。自由度の高いアーキテクチャにおける学習は難しいため、従来はモジュール自体は組み込んで固定し、その組み合わせ方だけを学習していた [Ogawa & Omori 06]。これに対し我々は、報酬に基づく行動獲得という単一タスクに必要なモジュールの学習とその組み合わせ方の学習を、並行して進めることができることを示した。本研究ではこれを発展させ、何を学習するかを切り換え方を学習することを目指す。

また、報告者は、「リンゴだよ」「ミカンだね」のような終助詞（機能語の一つ）を伴う発話の意味獲得の研究に最近着手し、十分限定された状況においては、終助詞に応じた行動（話題になっている物体の方に顔を向けてうなづく等）をロボットが報酬に基づき獲得できることを示した。本研究では、獲得した行動を手がかりに、終助詞に応じた内部情報処理（名前を覚えるなど）を獲得させることを目指す。

以上に加え、報告者は、ロボットを用いた認知発達研究に必要となる、以下の特徴的な技術を開発してきた。本研究はこれらの成果を発展させるものである。

- 人の側から無意識のうちに発せられる情報（韻律情報や発話の欠如）を利用した学習方式
- 人とロボットの間相互適応を利用した学習
- 自由発話からの学習に特有の、誤りと偏りを含む多種類の少数データからの対応づけ学習を可能にする、正確な確率計算に基づく学習アルゴリズム
- きめ細かい制御ができることを特徴としたロボットの視覚的注意のモデル
- 発達に必要な中長期間のインタラクションを可能にするための、人とロボットの間での愛着の形成
- 音韻認識誤りの訂正手法や、ロボット向け発話の検出方法

2. 研究の目的

決められた対象を学習するだけでなく「今、何を学習すべきか」も含めて学習できるメカニズムを、モジュールの組換えを基本演算とする計算機構を用いて、構成的に解明する。特徴は次の通り：

- 助詞などの機能語に応じて内部情報処理の流れを制御すること（機能語の意味）を学習する。内部情報処理の流れが、今何を学習すべきかを表現する。（機能語 = 文法的な関係を表す語）
- 獲得した行動を手がかりに内部情報処理を学習する。
- 内部情報処理を言葉（機能語や内容語）で指示して適切な処理の候補を絞り込めるようにすることで、組合せ爆発を抑える。（内容語 = 事物、性質、動作などを指し示す語）

3. 研究の方法

まず、発話対象を限定した発話の意味獲得の計算モデルを構築する。その際、本研究の特徴である助詞などの機能語の意味獲得に焦点を当て、何を学習すべきかを学習する機能の実現を目指す。モデルの妥当性は、人と学習ロボットのインタラクション実験を実施し、そこで生じるインタラクションの様子や学習経過を分析することにより検討する。これと並行して、中長期インタラクションを

可能にする技術の開発を進める。これは、日常場面に必要な知識を継続的に積み重ねて獲得していくためには、人からロボットへの働きかけが中長期間持続する必要があるにもかかわらず、まだその実現の見通しが立っていないからである。「人からの働きかけが持続するような、ロボットの反応のしかた」を獲得する技術を中心に研究開発を行う。本技術の効果は、人と学習ロボットのインタラクション実験を通して確認する。短期実験から始め、しだいに実験期間を延ばすことを試みる。

研究の後半では、モジュール組換えアーキテクチャに基づき、知識の累積的な獲得（獲得した知識が次の段階の知識獲得を可能にする）を実現する技術の開発を行う。

4. 研究成果

内容語とその意味の対応をモジュールで学習し、これと並行して、機能語に従って各モジュールからの出力を組み合わせる方法を学習することにより、極めて小規模のタスクに限った範囲ではあるが、相手の発話の意味に沿った動作や内部処理を、何を学習すべきかも含め、ロボットが学習できることを示した。これは、それを実現するための知識を与えた結果であるとは言え、知識の自己創出的な獲得（獲得した知識が次の知識の獲得を促進すること）の最初の一步を実現したことを意味する。

人はロボットのふるまいを見て報酬を与え、ロボットは強化学習によりモジュールの組合せ方を獲得するが、ロボットは外から見える行動だけでなく、適切な内部情報処理を獲得する必要があるため、この問題は簡単ではない。

以下では要素技術ごとの成果を記す。

(1) 発話の意味獲得の計算モデルの研究開発

内容語とその意味（指示対象）の対応を語の種類ごとにモジュールで学習し、これに並行して、機能語に従ってモジュールの組合せ方を学習することにより、発話の意味に沿った動作や内部処理を行うことができるロボットを開発した。学習対象の文や単語としては、次のような単純な3種類のタイプの発話に限定し、それぞれのタイプごとに個別に学習させた：「みかんだよ／りんごだね／バナナですか」「何色ですか／何という形ですか」「右手を上げて／左手を前に出して」。

で開発したロボットを用いて、人とのインタラクション実験を行い、ロボットが人の幼児と同様、肯定バイアス（正しい答えを知っているにも関わらず「いいえ」と答えるべき質問に対して「はい」と答えてしまう傾向）を示すことを発見した。続いて、学習の進行過程を詳細に分析し、肯定バイアスが生じるメカニズムを明らかにした。正しい応答学習が行われることを意図して設計した提案モ

デルが、人の幼児と同様に肯定バイアスを示してしまうことが発見されたことは、本研究で提案した発話の意味獲得の計算モデルが、人の発達モデルとして妥当である可能性を高める重要な知見である。

学習ロボットが発話する機能を付加し、発話機能がヒューマンロボットインタラクションに与える効果を検討した。また、終助詞「ね」の働きのうち共感を高める働きに注目し、学習システム側が共感する機能、および、共感を表出する機能を付加し、その効果を実験的に調査した。

(2) 中長期インタラクションを可能にする技術の開発

スマートフォンをロボットと見なしてインタラクションを行う実験環境を構築し、この実験環境を用いてマザリーズに選択的に反応するロボットの効果について、実験室実験、および、一般家庭でのインタラクション実験を実施した。

ロボットが相手を模倣することにより、人の側が持つロボットに対する印象がどのように改善されるかを実験的に示した。また、ロボットが失敗することで、人の側が持つロボットに対する印象と、人の側の行動がどのように変化するかを明らかにした。

学習システム側が主導的な発話／応答的な発話を適切に切り替えることを、報酬から学習することができる対話システムを構築し、インタラクション実験を行い、適応的な切り替えにより対話相手の飽きを防ぐ効果があることを示した。また、リカレントニューラルネットワークを用いて、インタラクションの創発的な切り替えが生じうる学習システムを試作した。

以上の成果は、いまだ実現されていない、人とエージェント間の中長期的インタラクションを実現するための重要な要素技術に位置づけられるものである。今後は、さらに、必要な要素技術として、好奇心などの内発的動機付けの研究開発を行い、中長期インタラクションの実現を目指す計画である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計15件)

- (1) Nishizaki, Y., Hayakawa, H. & Oka, N., Tactile sensory experience of softness leads to better human-robot interaction, The 3rd International Conference on Ambient Intelligence and Ergonomics in Asia (to appear). 査読有
- (2) Shinohara, Y., Hayakawa, H., Oka, N. & Nishizaki, Y., How Could Agents Build a Good Relationship with Human beings?: Optimal Rate of Mimicry in

- Human-Agent Interaction, The 3rd International Conference on Ambient Intelligence and Ergonomics in Asia (to appear). 査読有
- (3) Oka, N., Hattori, Y., Teraoka, K. & Fukada, C., Possible Mechanisms of the Yes Bias: Inquiry from the Data of Human-Robot Interaction Experiment, 3rd Workshop on Infant Language Development, p. 87, 2017. 査読有
- (4) Shinohara, Y., Kubo, K., Nozawa, M., Yoshizaki, M., Takahashi, T., Hayakawa, H., Hirota, A., Nishizaki, Y. & Oka, N., The Optimum Rate of Mimicry in Human-Agent Interaction, HAI 2016 Proceedings, pp.367-370, 2016. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1145/2974804.2980506>
- (5) Sakato, T. & Oka, N., Achieving Cooperative Behavior Based on Intention Estimation by Learning Combinations of Modules, International Journal of Sciences: Basic and Applied Research, Vol. 24, No. 7, pp. 346-356, 2015. 査読有
- (6) Yoshizaki, M., Takai, T., Takashima, E., Suetsugu, Y., Hirota, A., Furuhashi, S., Uchida, T., Hayakawa, H., Nishizaki, Y & Oka, N., Effect of Embodied Cognition on an Impression of a Robot, Proceedings of the 3rd International Conference on Human-Agent Interaction, pp. 191-193, 2015. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1145/2814940.2814972>
- (7) Oka, N., Hattori, Y., Fukada, C. and Ozeki, M., Why Did a Robot Tend to Say Yes to Yes-No Questions?, Proceedings of the International Symposium on Pedagogical Machines, p. 28, 2015. 査読有
- (8) 阿部香澄, 日永田智絵, アッタミミムハンマド, 長井隆行, 岩崎安希子, 下斗米貴之, 大森隆司, 岡夏樹, 人見知りの子どもとロボットの良好な関係構築に向けた遊び行動の分析, 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 12, pp. 2524-2536, 2014. 査読有
- (9) Abe, K, Hieida, C., Attamimi, M., Nagai, T., Shimotomai, T., Omori, T. & Oka, N., Toward Playmate Robots that can Play with Children Considering Personality, the 2nd International Conference on Human-Agent Interaction, pp. 165-168, 2014. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1145/2658861.2658913>
- (10) Tsuji, Y., Tsukamoto, A., Uchida, T., Hattori, Y., Nishida, R., Fukada, C., Ozeki, M., Omori, T., Nagai, T. & Oka, N., Experimental Study of Empathy and Its Behavioral Indices in Human-Robot Interaction, the 2nd International Conference on Human-Agent Interaction, pp. 245-248, 2014. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1145/2658861.2658933>
- (11) Sakato, T., Ozeki, M. & Oka, N., Learning through Imitation and Reinforcement Learning: Toward the Acquisition of Painting Motions, 2nd International Symposium on Applied Computing & Information Technology, pp. 873-880, 2014. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1109/IIAI-AAI.2014.174>
- (12) Oka, N., Wu, X., Fukada, C. & Ozeki, M., Concurrent Acquisition of the Meaning of Sentence-Final Particles and Nouns Through Human-Robot Interaction, in M. Lee et al. (eds.): Neural Information Processing, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 8226, pp. 387-394, Springer, Heidelberg, 2013. 査読有
http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-42054-2_48
- (13) Sakato, T., Ozeki, M. & Oka, N., Learning Which Features to Imitate in a Painting Task, 2013 IIAI International Conference on Advanced Applied Informatics, pp. 379-384, 2013. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1109/IIAI-AAI.2013.74>
- (14) Oka, N., Ogami, R., Wu, X., Fukada, C. & Ozeki, M., Acquiring the Meaning of Sentence-Final Particles yo and ne Through Human-Robot Interaction, in Proceedings of the First International Conference on Human-Agent Interaction, 1-1-4, 5 pages, 2013. 査読有
- (15) Shibata, R., Kojima, T., Ozeki, M. & Oka, N., How does the continuous use of infant-directed speech to a robot influence the user?, in Proceedings of the First International Conference on Human-Agent Interaction, III-2-4, 4 pages, 2013. 査読有
- 〔学会発表〕(計 33 件)
- (1) 岡夏樹, 服部侑介, 深田智, 尾関基行, なぜロボットは「はい-いいえ」質問に対して「はい」と答える傾向があったか: 人とロボットのインタラクション実験に基づく計算論的考察, 日本認知科学会第 32 回大会・論文集, pp. 187-194,

2015年9月19日, 千葉大学(千葉県千葉市).

〔図書〕(計1件)

- (1) Sakato, T., Ozeki, M. & Oka, N., A Computational Model of Imitation and Autonomous Behavior in Continuous Spaces, in R. Lee (Ed.), Studies in Computational Intelligence 492: Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, Switzerland: Springer, pp. 37-51, 2013.

〔その他〕

ホームページ等

- (1) 研究代表者ホームページ
<http://www.ii.is.kit.ac.jp/oka/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡 夏樹(Oka Natsuki)

京都工芸繊維大学・情報工学・人間科学系・教授

研究者番号: 20362585