

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 12 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870649

研究課題名(和文) 行為経験に基づいた概念の形成とその組み合わせ操作を行う認知メカニズム

研究課題名(英文) Cognitive mechanism of concept formation and manipulation based on own sensory-motor experience

研究代表者

有江 浩明(Arie, Hiroaki)

早稲田大学・理工学術院・助教

研究者番号：20424814

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、行為経験に基づいた概念とその操作を行うメカニズムの構成論的理解を目的として、言語と行為の対応付け学習を行う再帰結合型神経回路モデルを実ロボットに具現化した。ロボットの物体操作課題による実験を行い、神経回路モデルの内部状態を解析したところ、言語と行為を結びつける表現が自己組織化されたことを確認した。この成果は工学的応用だけでなく、認知科学などの学術的な研究への展開も期待できる。

研究成果の概要(英文)：This research project aims to understand the cognitive mechanism of concept formation and manipulation from a constructive approach. A recurrent neural network model is used as a learning model to associate linguistic command and robot behavior. To evaluate this method, we design a simple object manipulation task in which a human verbally directs a robot, which responds appropriately. The result shows that the model has an ability to self-organize an internal structure representing the task structure. The achievements of this project could be applied not only to engineering techniques but also to academic studies on cognitive science.

研究分野：認知ロボティクス

キーワード：記号接地問題 ニューラルネットワーク 認知発達ロボティクス

1. 研究開始当初の背景

人の持つ高次な認知的能力の一つとして、自らの行為経験の中から概念を形成し、それら进行操作することで、新たな行為を創生する能力がある。例えば、物体进行操作する場合を考えてみると、操作対象物と操作方法の組合せによって行為が成り立っており、対象物と操作方法の数が限られていても、それらを組合せることによって無数の行為を実現することが出来る。認知科学の分野では、このような概念の組み合わせ操作を合成性の原理 [Evans 1981] と呼んでおり、行為の認識・生成において非常に重要であることが指摘されている。

これまでに提案されている概念の組合せ操作を説明した認知モデルの多くは、記号的・離散的モデルに基づくものであり、設計者が要素概念に記号を割り当てる必要がある。そのため、認知モデルの内部で記号によって表象されるものと、自身が現実の世界で経験する内容との齟齬による誤認識が生じてしまい、適切に振る舞うことが出来ないという問題がある。例えば、“ボール”を“転がす”という組合せは実行できるが、“箱”を“転がす”という行為は、たとえ実行したとしても、すぐに箱が止まってしまう実現できない。つまり、記号としては組み合わせることに問題が無くても、それが現実世界で適切であるかということを検討しなければならない。このような記号系と現実世界とのギャップに由来する問題を記号接地問題 [Harnad 1990] という。

2. 研究の目的

以上の背景の下に、本研究課題ではロボットを用いて、行為経験に基づき、概念とその組合せ操作方法を自己組織的に獲得する認知モデルを提案することを目的とする。具体的には、物体操作行為における対象物と操作方法に関する概念と、それらの組合せ操作能力の自己組織化学習の達成を目指す。

従来の記号処理に基づいたモデルの多くは、組合せ的な汎化メカニズムをあらかじめ組み込んだものであった。これは合成性の原理という汎化メカニズムの説明がすでにあり、それをその通りに実装した物である。この方法では、たとえ構成した計算論的モデルが望んだとおりの汎化を示したとしても、その汎化現象はあらかじめ設計された物であるので、その現象に関する新たな知見は得られない。これに対し、本研究課題では目的とする汎化を実現する情報の表現・処理方法を自己組織化させ、それを解析することで汎化メカニズムを構成論的に理解することを目指す。

3. 研究の方法

本研究課題では物体操作行為を対象としており、現実世界においてタスクを実行可能なロボットプラットフォームが必要となる。

また、学習過程において人がロボットアームを把持して、行為を直接教示することを想定しており、外部から力を加えて教示を行えるシステムが必要となる。そこでまず、Aldebaran Robotics 社製の NAO を購入し、上述の要件を満たすロボット実験環境の構築を行った。

次に、ロボットの感覚運動情報を学習し、行為経験から概念を獲得するモデルとして、再帰結合を有する人工神経回路モデルとロボットシステムとの統合を行った。本研究で用いる神経回路モデルは Stochastic-Continuous Time Recurrent Neural Network (S-CTRNN) [Murata 2015] と呼ばれるもので、現時刻の感覚運動情報を入力として受け取り、予測数 d ステップ先の感覚運動情報を予測する。このとき、教示データの各部分における予測可能性を評価し、それに合わせて学習の強さを調節することで、より安定的に学習できるという特徴がある。

最後に、ロボット実験用の認知行動タスクをデザインし、提案する神経回路モデルを用いてロボットがタスクを実行するように訓練する。タスクには言語指示に基づいてベルをたたき課題を設定した (図 1)。図に示す

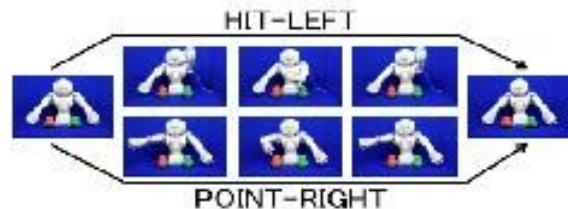


図 1 ベルたたき課題

ように、ロボットの前に左右一つずつベルを置き「動詞+左右」か「動詞+色」で行為を指示する。ベルの色はそれぞれ赤、緑、青のいずれかとした。ベルが左右同色の場合、色による指示では行為が一位に定まらないため「動詞+色+左右」の3単語で指示する。言語指示を受けた後、必要に応じて視覚情報も利用して、ロボットは4つの行為 (POINT-LEFT, POINT-RIGHT, HIT-LEFT, HIT-RIGHT) のうち適切なものを生成する。

さらに、本研究課題ではインタラクションの中で用いることの出来る概念表象を獲得させるため、教示データを次のように設計した。(1) 可能な言語指示と行為の組を充分に与える。ただし、汎化性能を評価するため、可能な組合せのうち幾つかを除く。(2) インタラクションの反復として教示データを構成する。(3) 反復毎の開始タイミングをランダムに与える。

4. 研究成果

ニューロン数を100個に設定したS-CTRNNを用いて、予測数 d を4ステップとして100,000回学習を行った後、ロボットの行為生成実験を行ったところ、言語指示

とロボットの前に置かれているベルの色に基づき、適切な行為が生成された。また、学習時に与えられなかった組合せに関して、学習データに含まれる組合せを汎化することで適切な行為を生成することが出来た。

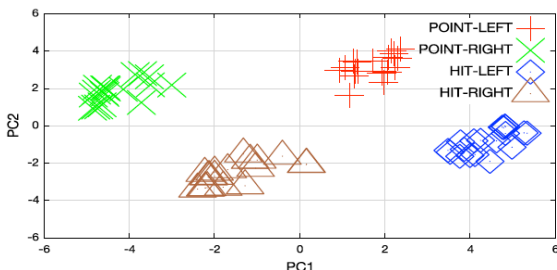


図 2 言語指示を受けた後の内部状態 1

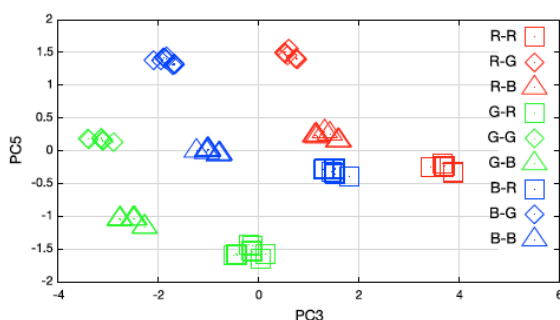


図 3 言語指示を受けた後の内部状態 2

図 2 に行為生成直前の神経回路モデルの内部状態に対して、主成分分析を行った結果を示す。第 1、第 2 主成分の空間に、生成すべき行為ごとのクラスターが形成されていることが分かった。

また図 3 に示す第 3、第 5 主成分の空間には、左右に置かれるベルの色配置に関する情報が埋め込まれていることが分かった。これらのことから、提案する神経回路モデルは置かれた状況に応じて、与えられた言語指示に対応する行為を生成するための情報表現を組織化したということが出来る。

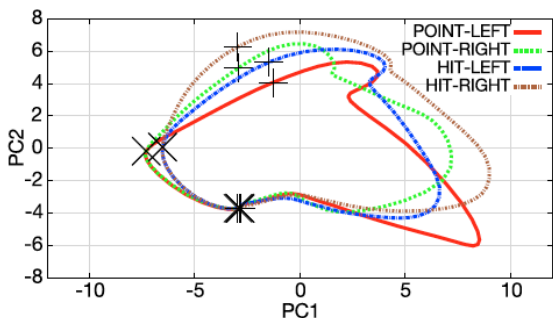


図 4 第 1、第 2 主成分の時間変化

さらに、第 1、第 2 主成分の時間変化を図 4 に示す。この図から、言語指示を受けてから行為生成を終える 1 つのサイクルにおいて内部状態が繰り返し同じ点を通ることが分かる。すなわち、このサイクルは動詞入力により 2 つに分岐し、色指示もしくは左右指示によりさらに二つに分かれ、その後行為を生成しながら終点で一つに収束する構造と

なっている。また、終点において、次の言語指示が入力されるまで内部状態が静止していることが分かった。これにより、言語指示に基づいて行為を生成するというインタラクションの中で繰り返し利用することが可能な形で情報が表現されていることが分かった。

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 0 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

[1] Tatsuro Yamada, Shingo Murata, Hiroaki Arie, Tetsuya Ogata, “Dynamic Linking of Positive and Negative Sentences to Goal-oriented Robot Behavior by Hierarchical RNN,” The 25th Int. Conf. on Artificial Neural Networks (ICANN 2016), Barcelona, Spain, Sept. 2016.

[2] 山田竜郎, 村田真悟, 有江浩明, 尾形哲也, “階層型 RNN を用いたロボットの旗揚げタスクにおける肯定及び否定指示の理解”, 第 30 回人工知能学会全国大会, 105-0S-22b-4, 福岡, 2016 年 6 月.

[3] Tatsuro YAMADA, Shingo MURATA, Hiroaki ARIE and Tetsuya OGATA, “Attractor Representations of Language Behavior Structure in a Recurrent Neural Network for Humanrobot Interaction,” In Proc. of the 2015 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2015), pp. 4179-4184, Hamburg, Germany, Sept. 2015.

[4] 山田竜郎, 村田真悟, 有江浩明, 尾形哲也, “ターンテイクタスクを行うロボットの神経路上アトラクタにおける言語と行動の動的統合”, 第 33 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1B3-05, 東京, 2015 年 9 月.

[5] 山田竜郎, 村田真悟, 有江浩明, 尾形哲也, “人間ロボットインタラクションを目的とした神経回路による言語と行動のアトラクタ表現,” 情報処理学会 第 77 回全国大会, 5T-01, 京都, 2015 年 3 月.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：

種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

http://ogata-lab.jp/ja/member_ja/hiroaki_arie_ja.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

有江 浩明 (Arie, Hiroaki)
早稲田大学・理工学術院・助教
研究者番号：20424814

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：