

氏名	さかと たつや 坂戸 達陽
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	博甲第785号
学位授与の日付	平成28年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学位論文題目	報酬に基づく協調問題解決のための注目点の獲得に関する研究
審査委員	(主査)教授 岡 夏樹 教授 辻野嘉宏 教授 寶珍輝尚 准教授 荒木雅弘

論文内容の要旨

将来、各家庭にロボットが導入される日も遠くないと言われている。日常生活の場において人の手助けを目的とするロボットには、日常生活における様々な場面で起こる様々な状況に対応する能力が求められるが、起こり得るすべての状況を想定してロボットの動作を予め組み込んでおくことは困難である。よって、日常生活の場で活動するロボットには、インタラクションを通して、置かれている環境や他者に適応する能力が必要である。しかし、ロボットが特定の課題を達成する際、実世界の環境から得られる情報には、課題の達成とは関係のない情報も多い。また、複雑な処理を行うロボットは、内部で扱う記号間の関係性や、記号自体の意味を、環境に適した形で獲得する必要がある。さらに、様々な状況に対応するロボットは、特定の状況に対応するロボットよりも多くの機能を持っていると考えられるが、特定の課題を達成するには必要とされない機能も多い。よって、ロボットが実世界で学習する際には、環境から得られる情報から必要な情報を選択し、内部の知識と合わせて効率よく処理すること、そして、ロボットのもつ機能の中から、課題の達成に必要な機能を選択することが要求される。

本論文では、ロボットなどの学習エージェントが獲得する報酬に着目し、学習エージェントが課題の達成に必要な情報や機能などの要素を選択するための注目点を獲得するモデルを、(i) 外部情報、(ii) 内部表象、(iii) 内部処理の3つの観点から提案する。課題としてはそれぞれ、模倣学習、見立て遊び、協調行動を用いる。課題は他者とのインタラクションを含むものとし、協調問題解決のための注目点の獲得モデルを提案する。

外部情報の注目点の獲得では、模倣学習における注目対象を獲得するモデルを提案する。ロボットなどの学習エージェントの学習手法の1つとして、試行錯誤による学習が挙げられるが、探索空間の広い環境においては、試行錯誤による学習のみでは、学習に多くの時間がかかり実用的ではない。そこで、すでに達成すべきタスクに習熟している他者を模倣することで効率的に学習することが考えられるが、このような模倣学習における問題の1つとして、他者の行動のどの要素に注目するかということが挙げられる。本論文では、模倣学習において観測した他者の行動の何に注目するかという、模倣学習における注目対象を獲得するモデルを提案する。シミュレーション環境でのタスクとしては食卓上でのインタラクションを扱い、実世界のロボットでのタスク

としては塗り動作を扱う。実験の結果、提案モデルでの学習で、タスクに対して適切な注目対象を獲得することができた。

内部表象の注目点の獲得では、見立て遊びにおける学習エージェントの内的表象を獲得するモデルを提案する。知的エージェントのモデルの1つとして、認識、計画、実行などの機能ごとのモジュールの組み合わせによって複雑な問題を解決しようとするモデルがある。このモデルでは、モジュールの組み合わせを変えることで、異なる環境や状況に学習結果を再利用することができる。本論文では、インタラクションとして学習エージェントと他者との見立てを含む真似遊びを扱い、インタラクションを通して物体間の関係性を学習し、他者に伝わる見立てを行うための物体の表象を獲得するモデル、および、各機能モジュール間の関係性を学習し、意図の表象を獲得するモデルを提案する。タスクとしては、見立ての獲得、他者に伝わる見立ての獲得、見立てを含む真似遊びにおける意図の表象の獲得を扱う。実験の結果、学習エージェントは、それぞれのタスクに対して提案したモデルで適切な学習を行うことができた。

内部処理の注目点の獲得では、他者意図の推定に基づく協調行動を獲得するモデルを提案する。ロボットが人の手助けを目的とする場合、人の意図を推測し、推測した意図に基づいた協調行動を行う能力が必要である。本論文では、モジュール型のモデルを用いた、他者意図の推定に基づく協調行動を獲得するモデルを提案する。タスクとしては積み木遊びを扱い、モジュールの組み合わせによって協調行動を獲得するモデルを提案する。実験の結果、学習エージェントは与えられたタスクにおける協調行動に必要なモジュールの組み合わせ方を学習し、他者と協力してタスクを達成することができた。

論文審査の結果の要旨

申請者は、人工知能が人と協調して問題解決をすることを可能にするための課題のうち、特に、「注目すべき点」を人工知能に獲得させる課題に取り組んだ。これは、日常場面での高度な人工知能実現のための最大の壁の1つであると研究者間で認識されている課題である。申請者は、これを解決するための基盤技術の開発を行った。この課題はこれまで長い間意識されてきたが、最近の深層学習を始めとする機械学習技術の急速な発展により、人工知能が日常生活の場で活躍を始めるという期待が高まる今日、その重要性が急速に高まったものである。したがって、申請者が本研究で提案した基盤技術の意義や効果は極めて大きい。

人工知能が実用的であるためには、1) 人工知能が相手をしている他者の情報を含む各種センサーから時々刻々得られる極めて大規模な情報から、注目すべき情報を取り出す能力、2) 人工知能内部に蓄えられた膨大な知識・情報から注目すべき情報を取り出す能力、3) 人工知能内の多数の要素機能を組み合わせて問題解決する際に、それら要素機能の組合せ爆発を避けるために注目すべき組合せを作り出す能力—の3つの能力が不可欠となる。申請者は、これら3つの能力の基礎部分を形作る技術の開発を行った。

申請者は、まず、1) について、模倣学習の際に、他者の行動のどの側面に注目して模倣するかを獲得する技術を開発した。人工知能が家庭環境に導入された場合は、工場等におけるロボットとは異なり、日常的に、初めての人、初めてのもの、初めてのできごとに遭遇することが予想される。そのため、あらかじめ、それらすべてに対応するための機能を人工知能に組み込んでおくことは現実的でなく、それらを獲得する機能、特に、模倣により効率よく獲得できる機能が必須

となる。模倣という、真似すればよいだけだから簡単に実現できるように一見思われるかもしれないが、実際は、どのような観点を模倣するかには無限とあってよい可能性がある難しい問題である。申請者は、この課題の基本部分に取り組む技術を提案し、非常に単純な場面に限定したものであるが、ロボット実験により検証した。

次に申請者は、2) について、人工知能が内部で用いる表象の意味を人とのインタラクションを通して獲得する技術を開発した。内部表象の意味が適切に獲得できていれば、注目すべき情報を取り出すことが比較的容易に実現できると考えられるため、ここで提案した技術の意義は極めて大きいと言える。申請者は、特に、他者の意図と人工知能側の行動を結びつける内部表象に注目し、それが柔軟に自動構築できることを示した。

さらに申請者は、3) について、人工知能が他者との協調行動を行う場面において、そのために必要な要素機能の組合せを学習を通して作り出す技術を開発した。簡単な仮想環境でのシミュレーションに限定されてはいるが、他者意図の推定機能を含む要素機能の適切な組み合わせを自動生成することに成功した。

以上の結果から、本論文は、1) 外部から得られる情報、2) 内部に蓄えられた知識、3) 要素機能の組合せの3種類の組合せ爆発的な情報処理において、「注目すべき点」を人工知能に獲得させることができることを示している。将来の家庭日常場面への人工知能の本格的な普及に必要な基礎技術を提案し、その有効性を実験的に検証したという点で、本研究内容は高く評価できる。

なお、本論文の内容は、レフェリーによる審査を経た4編の論文[1,2,3,4]を基に構成されており、これらの論文はいずれも申請者が筆頭著者である。

- [1] Tatsuya SAKATO, Motoyuki OZEKI, and Natsuki OKA, A Computational Model of Imitation and Autonomous Behavior in Continuous Spaces, *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, Studies in Computational Intelligence* 492, pp. 37-51, 2013.
- [2] Tatsuya SAKATO, Motoyuki OZEKI, Natsuki OKA, Learning Which Features to Imitate in a Painting Task, *Proceedings of 2013 Second IIAI International Conference on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI 2013)*, pp. 379-384, 2013.
- [3] Tatsuya SAKATO, Motoyuki OZEKI, Natsuki OKA, Learning through Imitation and Reinforcement Learning: Toward the Acquisition of Painting Motions, *Proceedings of 2014 IIAI 3rd International Conference on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI 2014)*, pp. 873-880, 2014.
- [4] Tatsuya Sakato, Natsuki Oka, Achieving Cooperative Behavior Based on Intention Estimation by Learning Combinations of Modules, *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, Vol. 24, No. 7, pp. 346-356, 2015.