

氏 名	福田 悠人
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	博理工甲第982号
学位授与年月日	平成27年3月24日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	対話ロボットシステムを援用した物体表現オントロジーに基づく指示物体の認識
論文審査委員	委員長 教 授 久野 義徳 委 員 教 授 島村 徹也 委 員 准教授 小室 孝 委 員 准教授 小林 貴訓

論文の内容の要旨

世界的な高齢化の進行や労働力不足といった問題を補うために、工場のような限定された環境で決まったタスクを実行するだけでなく、人が実際に活動するようなより一般的な環境で人と協力して様々なタスクを実行するサービスロボットの需要が高まっている。このようなサービスロボットの実現には、周囲の複雑な環境を認識するための画像処理の技術や、人間の発話を認識するための音声認識の技術が不可欠であるが、どのような状況においても誤ることなく認識を行うことはとても困難である。また、ロボットが人と協力してタスクを行うことを考えると、人とロボットの間のインタラクションの方法についても考慮する必要がある。本研究では、人がロボットに物を取るように頼むタスクに着目し、研究を行った。このようなタスクを実行するには、人が指示した物体を認識するための物体認識の技術が必要であるが、これもまた誤ることなく認識を行うことは困難な問題である。そこで、ロボットが自動的な物体認識に失敗した場合に、人との対話を援用して指示物体を認識する対話物体認識について検討している。これは「それは何色ですか?」などと、ロボットとユーザがその物体に対して対話を行い、ユーザから得られた情報を基にロボットがその物体を認識するというものである。しかし、物体を説明する人の表現は多様である。人は同じものに対して様々な表現を用いたり、また同じ表現でも状況によって様々なものを示すことがある。

そこで本研究では、人が物体指示のために用いる物体表現に着目し、それらをオントロジーを用いて整理し、知識としてまとめた。また、それにより構築した物体表現のオントロジーに基づいて人の指示物体を認識する対話認識システムを提案した。実験では、対話ロボットシステムを用いて、その有効性を確認した。

第1章では、本研究の背景、目的、課題や位置づけを示す。

第2章では、まず初めに人が物体指示のために用いる物体表現がどのように行われるかについて調査した実験についてまとめた。また、調査実験から得られた結果に基づいて、人の物体表現をオントロジーによりどのように構築するかについて検討し、物体表現のオントロジーを構築した。ここでは、人の物体表現の構成要素を、その表現がどのような物体を示すかを表す「What Description」と、その表現が物体のどの部分を示すかを表す「Where Description」に分類することで、物体表現のオントロジーを構築した。物体表現のサブオントロジーには、ユーザの様々な表現に対応するために、物体の色を説明した表現や物体の形状に

について説明した表現など、130 程度の表現の概念を加えた。また、提案している対話物体認識の枠組みで用いるための対話物体認識のためのオントロジーについても構築を行った。

第3章では、第2章で説明を行った人の物体表現のオントロジーに基づき、人が目的としている物体を認識するシステムを提案した。ここでは、実際に人の物体表現が示しているものは物体の属性であるため、物体の各属性の検出手法についても検討を行った。本研究では、特に物体の形状の属性の検出法と、物体の材質の属性の検出法について検討した。物体の形状属性の検出では距離画像センサにより獲得される3次元点群データを用いて、物体の形状の検出を行った。物体の材質属性の検出には、一般的な物体認識手法にも用いられるような、Bag of Visual Words 表現による画像表現と統計的な機械学習手法である Latent Dirichlet Allocation を用いた推定手法において、複数の特徴量を選択的に用いることで、選択問題を解く精度を向上させる手法を提案し、その有効性を確認した。また、第2章で詳細な説明を行っているが、人が目的物体の指示に用いる表現を取り扱うためには、その言葉と物体の対応関係を考慮する必要がある。また、状況によっては、ある表現が複数の物体に当てはまる可能性があるため、どの物体がより優先されるのかも考慮する必要がある。ここでは、そのような人の表現と物体の構成(属性)の対応関係を、人とシステムの対話から獲得する方法を検討した。また、それらの対応関係をオントロジーに記述し、物体表現オントロジーに基づいて物体を認識するシステムを構築した。実験では人の物体表現のオントロジーに基づいて目的物体の認識を行うことで、ユーザとシステム間での対話が円滑に行われることを示した。また、物体表現オントロジーの別な利用方法として、システムが行う物体表現の生成に適用が可能かを検討した。

第4章では、実際に動作する対話ロボットシステムを構築し、その各ソフトウェアモジュールについて述べた。ここではまず、人とロボットがインタラクションを行うための人の追跡システムについて説明を行い、またロボットの位置推定システムについても説明を行った。最終に提案する対話を援用した物体認識システムをロボットシステム上で実装し、ユーザとのインタラクションにより効率的にタスクを実行できるかについて、被験者を用いた実験を行い、その有用性を示した。また、オントロジーに基づいた対話物体認識システムのヒューマンロボットインタラクションにおける有用性を対話実験を通じて検討した。

第5章では、全体を総括し、今後の課題についてまとめた。

論文の審査結果の要旨

当論文審査委員会は、当該論文の発表会を平成 27 年 2 月 4 日に公開で開催し、詳細な質問を行い論文内容の審査を行った。その論文発表を含む学位論文の審査の結果、本提出論文を博士（工学）の学位論文として合格と判定した。以下に審査結果の要約を示す。

本提出論文はコンピュータビジョン分野における物体認識に関するものである。世界的な高齢化の進行や労働力不足といった問題を補うために、工場のような限定された環境で決まったタスクを実行するだけでなく、人が実際に活動するようなより一般的な環境で人と協力して様々なタスクを実行するサービスロボットの需要が高まっている。このようなサービスロボットの基本タスクとして、本研究では、人がロボットに物を取るように頼むタスクに着目し、検討を行っている。このようなタスクを実行するには、人が指示した物体を認識するための物体認識の技術が必要である。しかし、物体を誤りなく認識することは困難な問題である。そこで、ロボットが自動的な物体認識に失敗した場合に、人との対話を援用して指示物体を認識する対話物体認識について検討している。これは「それは何色ですか？」などと、ロボットとユーザがその物体に対して対話を行い、ユーザから得られた情報を基にロボットがその物体を認識するというものである。しかし、物体を説明する人の表現は多様である。人は同じものに対して様々な表現を用いたり、また同じ表現でも状況によって様々なものを示すことがある。そこで本研究では、人が物体指示のために用いる物体表現に着目し、それをオントロジーを用いて整理し、知識としてまとめている。また、それにより構築した物体表現のオントロジーに基づいて人の指示物体を認識する対話認識システムを提案し、対話ロボットシステムを用いて実験を行い、その有効性を確認している。

本論文は 5 章からなる。まず、第 1 章では、上述のような本研究の背景、目的、課題や位置づけを述べている。

第 2 章では、まず初めに人が物体指示のために用いる物体表現がどのように行われるのかについて調査した実験についてまとめている。また、調査実験から得られた結果に基づいて、人の物体表現をオントロジーによりどのように構築するかについて検討し、物体表現のオントロジーを構築している。ここでは、人の物体表現の構成要素を、その表現がどのような物体を示すかを表す「What Description」と、その表現が物体のどの部分を示すかを表す「Where Description」に分類することで、物体表現のオントロジーを構築している。物体表現のサブオントロジーには、ユーザの様々な表現に対応するために、物体の色を説明した表現や物体の形状について説明した表現など、130 程度の表現の概念を加えた。また、提案している対話物体認識の枠組みで用いるための対話物体認識のためのオントロジーについても構築している。

第 3 章では、第 2 章で説明を行った人の物体表現のオントロジーに基づき、人が目的としている物体を認識するシステムを提案している。ここでは、実際に人の物体表現が示しているものは物体の属性であるため、物体の各属性の検出手法についても検討を行っている。本研究では、特に物体の形状の属性の検出法と、物体の材質の属性の検出法について検討している。物体の形状属性の検出では距離画像センサにより獲得される 3 次元点群データを用いて、物体の形状の検出を行っている。物体の材質属性の検出には、一般的な物体認識手法にも用いられるような、Bag of Visual Words 表現による画像表現と統計的な機械学習手法である Latent Dirichlet Allocation を用いた推定手法において、複数の特徴量を選択的に用いることで、選択問題を解く精度を向上させる手法を提案し、その有効性を確認している。

また、人は同じ表現で多様なものを示す場合があるが、その間に優先順位がある。例えば「赤い」というのは全体が赤い物体を指す場合も、主要な部分が赤い物体を指す場合もあるが、前者の方が優先順位が高い。ここでは、そのような人の表現と物体の構成（属性）の優先順位の関係を、人とシステムの対話から獲得す

る方法を提案している。また、それらの関係を物体表現オントロジーに基づいた物体認識システムで利用することで、円滑な認識を行う対話システムを開発し、実際に収集したデータを用いてそのシステムの有効性を実験により示している。

第4章では、実際に動作する対話ロボットシステムを構築し、その各ソフトウェアモジュールについて述べている。人とロボットがインタラクションを行うためには、相手の人とロボットの位置関係等が必要だが、そのような情報を得るために、人の追跡システムおよびロボットの位置推定システムを開発している。そして、提案する対話を援用した物体認識システムをロボットシステム上に実装し、ユーザとのインタラクションにより効率的にタスクを実行できるかについて、被験者を用いた実験を行い、その有用性を示している。また、物体表現オントロジーに基づいた物体認識手法をロボットシステム上に実装し、その動作を確認している。

最後に第5章で、全体を総括し、今後に残された課題を議論している。

以上のように、本論文の内容は、学術的に意義のある研究であると評価できる。よって、当学位論文審査委員会は、本論文を博士（工学）の学位論文として合格と判定した。