

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00362

研究課題名(和文) 協働する人からの指摘・要望の自然言語表現を反映したロボットの状態識別・軌道生成法

研究課題名(英文) Robot motion recognition and generation reflecting natural language expression of information from human co-worker

研究代表者

小林 祐一 (Kobayashi, Yuichi)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：60373304

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ロボットと人が協働する場面を想定した自然言語コミュニケーションのための自然言語認識方法の開発を行った。日常的な対話と異なり、人とロボットが協働する場面で求められる「現在ロボットが行っている仕事内容についての情報伝達」に焦点をあて、ロボットの仕事の実行状況を表示する階層構造(あるタスクがより細かい複数のサブタスクに分割されるという関係)をベースにした認識方法を開発した。クラウドソーシングというWEBを介した大規模データ収集方法にもとづいて、自然言語での仕事内容の識別が可能であることを示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、これまでのロボットのための自然言語認識方法で扱って来なかった「ロボットのタスクの実行状況を認識する」という課題に焦点をあて、設計者により与えられる「タスクの記述」と連携した識別を実現したことである。自然言語表現は曖昧さを含むことがあり、ロボットが実際に仕事を行う状況を正確に把握することは難しいこともあり得るが、本手法では、その「曖昧さ」をタスク記述と結びつけながら陽に表現することを可能にした。これによって、ロボットと人が一緒に働くというより実社会で求められる状況に近い場面のロボット認識能力を向上させることに貢献した。

研究成果の概要(英文)：In this project, a natural language recognition method was developed for co-working robots with humans. The main contribution of the project is that it focuses on natural language communication with respect to tasks that robot and human are conducting. For the focus, description of task in a hierarchical manner is utilized for task-state recognition from natural language, where hierarchical representation stands for relation of division of a task into smaller sub-tasks. Based on a data collection method known as crowdsourcing, a number of natural language data was collected and it was shown that the proposed method realizes task-state recognition by natural language.

研究分野：ロボット工学

キーワード：協働ロボット 自然言語認識 タスク表現 タスクの階層性

1. 研究開始当初の背景

(1) IoT や Industry 4.0 などの産業の情報化・ロボット化の取り組みの一つの課題として、人とロボットが現在よりも近い距離で協働作業を行うことがあげられる (図 1 参照)。このような協働においては、ロボット単独で作業する場合と比較して作業環境に変動や不確かさが増すため、想定以上の計測誤差による失敗や協働作業者の要望による変動に対処する能力がより強く求められる。ロボットの側で失敗への対応能力を向上させるアプローチは研究されているが、自律ロボット単体による対応能力は十分な実用レベルには到達していない。協働する人の側からのフィードバックはその改善のために重要な役割を果たしえるが、それを有効に利用した制御方法はまだ実現されていない。一方、自然言語表現とタスク記述・計画を結びつけて人からの発話を有効に利用する方法は **Computer Supported Collaborative Work (CSCW)**、自然言語処理などの分野で活発に研究が行われているが、ロボットの連続的な動作・センサ計測誤差という実用面で重要な影響を与える要因を十分に考慮した方法は研究されてこなかった。

(2) 上記の自然言語によるロボットと人とのコミュニケーションの課題の背景には、ロボットの認識能力、特に運動やタスク実行に関する認識能力を向上させるという課題がある。この課題において、複数種類のセンサ情報やその時系列的な遷移などの多くの要因があるが、その間の関係は一般に多様なケースがあり得るため、設計者や協働者の人間の側がすべてを把握して対処する方法でロボット知能を構成することは容易ではない。つまり、ロボット自身の認識・運動学習能力の開発において、複数の現象や知覚の間の関係を自律的に抽出する方法を開発することも望まれる。



図 1 人とロボットの協働作業の例(ミュンヘン工科大)

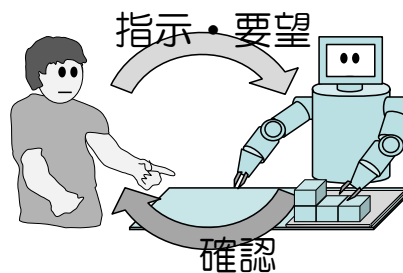


図 2 ロボットの作業に関するコミュニケーション

2. 研究の目的

- (1) ロボットの作業状態を自然言語により識別することで人と協働するロボットのコミュニケーション能力を向上させることを目的とする。ロボットが行う具体的な作業を想定し、その作業の実行状況 (作業中の過程に失敗が含まれるなど) を自然言語により特定する方法を確立する。これにより、図 2 に示すような「作業内容に関わる人とロボットのコミュニケーション」の実現につながる方法の基礎を構築する。
- (2) 自然言語表現に含まれる曖昧さを考慮し、ロボットのタスクの階層性と結びつけることで、自然言語のもつ曖昧な表現がロボットの行うタスクにとってどのように対応するかを明らかにできるような形での自然言語認識方法を提案する。
- (3) ロボットが多種の感覚・観測情報間の関係性を発見し運動学習に適用する学習法を開発する。

3. 研究の方法

- (1) ロボットの実行すべきタスクについて、人が設計して与えるという立場を取る。タスクの設計に際して、その階層性を考慮する。つまり、あるタスクはそれを実行するために必要なサブタスク (より小さなタスク) に分割されるという性質を表現し、この構造を自然言語認識におけるベースとして利用する。具体的には、**Hierarchical Task Network** と呼ばれる階層的なタスク記述方式をベースとして利用する。
- (2) ロボットが作業する様子を図 3 のようにビデオに撮影し、作業には各サブタスクの実行状況 (成功・失敗を含む) に多様性を持たせて複数のパターンを用意する。このビデオを用いたクラウドソーシングにより自然言語による文のデータを収集する。こうして得られたタスク実行状況と文データをもとに、自然言語表現 (文) が表すタスクの実行状況に対応させる。この対応関係により、新たな自然言語に対するロボットのタスク実行状況を識別する方法を確立する。
- (3) 自然言語により表されるタスクには、例えば「ロボットはタスクに失敗した」という具体性のない表現と、「〇〇の物体を掴むのに失敗した」のようにより具体的な表現などがあり得る。このようなタスクの曖昧さのレベルの違いを、**Hierarchical Task Network** で表現されたタスクの階層性と結びつけることで、与えられた文がどの程度の具体性をもってタスクの実行状況を言い表しているのかを含めた推定を行えるようにする。

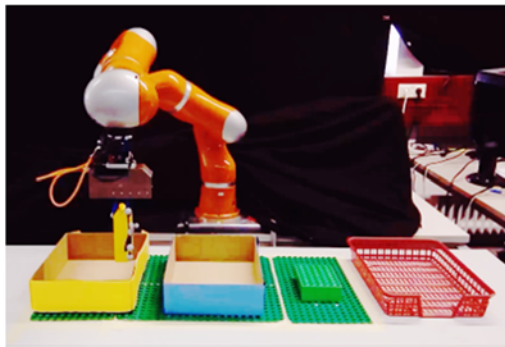


図3 物体を運ぶロボット作業の動画の例

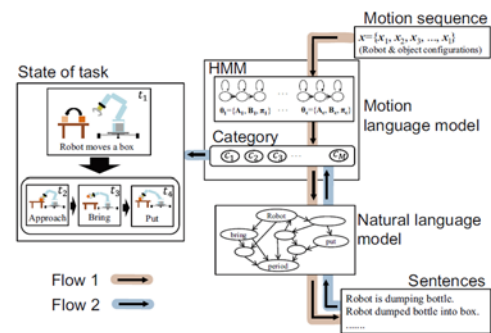


図4 ①で提案されたタスク識別と運動識別の枠組み

4. 研究成果

(1) ロボットタスクを実行する際に得られるロボットアームの関節角度時系列情報とともに物体位置・姿勢時系列情報を記録した。タスクの実行状況について、3種類の失敗を再現した。各失敗について22文、全体で成功を含めて88文の文章(英語)を収集した。この時系列データと文章データを用いて、動作時系列信号をもとに失敗のカテゴリ識別を行う認識系をHMM(隠れマルコフモデル)にもとづいて構成した。この識別器において、83%の識別率で、タスクの成功/失敗が識別できることが確認された(図4)。また、各カテゴリについてN-gramモデルからなる自然言語モデルを構築し、各カテゴリを表現する文章を生成することが可能であることを確認した。逆に、訓練データにない文章を与えてカテゴリ識別実験を行い、各カテゴリを識別することも可能であることを確認した(①)。

(2) 前述の問題設定における文データの規模を6倍に増大させ、同時にタスクの多様性・複雑さを増大させた例を対象としてデータ生成と収集を行った。また、各サブタスクの実行状況について「実行」「未実行」「文章からは判断できない」という3種類を対応させることで曖昧さと結びつける方法を構築した。各サブタスクについて、対応づけを学習する際に、タスクのもともと持っている順序制約などの条件を取り込む方法を提案した(②,④,⑤)。実際の自然言語表現では、サブタスク時系列の中で時間的に離れたサブタスクの組み合わせが一つの文によって表現されることは考えにくい。このような考え方をもとにして、タスクの階層性を導入した識別方法を構築した。これにより、以前の枠組みでの識別率80%から92%に向上させることができた。

(3) これらの動作識別方法の開発と並行して、目的(3)の課題として、ロボットの動作の際にタスクの成功・失敗に関する要因を推定する研究を行った。具体的には、画像特徴からタスクの成功・失敗に関わる予測に関する検討を行い、ロボットの動作を知覚する複数のセンサ情報をもとに、情報間の依存関係の推定を行う動作学習方法を開発した(③)。このセンサ情報間の依存関係推定にもとづく動作生成・学習法とロボット知能の関係を、ボトムアップな知能の構築という方法論として考察する書籍をまとめた(⑥)。

<引用文献>

- ① Y. Kobayashi, T. Matsumoto, W. Takano, D. Wollherr and V. Gabler, Motion recognition by natural language including success and failure of tasks for co-working robot with human, Proc. of IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 10-15, 2017.
- ② 阿部卓未, 小林祐一, 高野渉, Dirk WOLLHERR, Volker GABLER, 協働ロボットのためのタスク表現を利用した自然言語によるタスク実行状況識別, 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2018), 2018.
- ③ Y. Kobayashi, K. Harada and K. Takagi, Automatic Controller Generation Based on Dependency Network of Multi-modal Sensor Variables for Musculoskeletal Robotic Arm, Robotics and Autonomous Systems, Vol. 118, pp. 55-65, 2019. .
- ④ 阿部卓未, 小林祐一, 高野渉, Dirk WOLLHERR, Volker GABLER, 協働ロボットのための曖昧さを考慮した自然言語によるタスク達成状況識別, 第24回創発システムシンポジウム, 2018.
- ⑤ 阿部卓未, 小林祐一, 高野渉, Dirk Wollherr, Volker Gabler, 人と協働するロボットのための類似性を反映した自然言語による状態識別, 第30回自律分散システム・シンポジウム(2018年1月)
- ⑥ 小林祐一, ロボットはもっと賢くなれるか: 哲学・身体性・システム論から学ぶ柔軟なロボット知能の設計, 森北出版, ISBN: 978-4-627-88061-0, 2020.2.28.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yuichi Kobayashi, Kentaro Harada and Kentaro Takagi	4. 巻 118
2. 論文標題 Automatic controller generation based on dependency network of multi-modal sensor variables for musculoskeletal robotic arm	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Robotics and Autonomous Systems	6. 最初と最後の頁 55-65
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1016/j.robot.2019.04.010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 阿部卓未
2. 発表標題 協働ロボットのための曖昧さを考慮した自然言語によるタスク達成状況識別
3. 学会等名 第24回創発システムシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部卓未
2. 発表標題 協働ロボットのためのタスク表現を利用した自然言語によるタスク実行状況識別
3. 学会等名 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宗戸俊樹
2. 発表標題 ロボットハンドを用いた把持行動の時系列画像における動作分類
3. 学会等名 第24回創発システムシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuichi Kobayashi
2. 発表標題 Motion recognition by natural language including success and failure of tasks for co-working robot with human
3. 学会等名 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 阿部卓未
2. 発表標題 人と協働するロボットのための類似性を反映した自然言語による状態識別
3. 学会等名 第30回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 小林祐一	4. 発行年 2020年
2. 出版社 森北出版	5. 総ページ数 256
3. 書名 ロボットはもっと賢くなれるか：哲学・身体性・システム論から学ぶ柔軟なロボット知能の設計	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>人と協働するロボットのための自然言語によるタスクの実行状況識別方法 http://sensor.eng.shizuoka.ac.jp/content.htm 人と協働するロボットのための自然言語を利用したタスク実行状況の認識 http://sensor.eng.shizuoka.ac.jp/~koba/previous_research/research_j.html#language</p>

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
研究協力者	ヴォルヘア ディルク (Wollherr Dirk)	ミュンヘン工科大学・自動制御工学研究室・Lecturer	
研究協力者	ガブラー フォルカー (Gabler Volker)	ミュンヘン工科大学・自動制御工学研究室・研究員	
研究協力者	高野 渉 (Takano Wataru) (30512090)	大阪大学・数理・データ科学教育研究センター・特任教授 (14401)	
研究協力者	阿部 卓未 (Abe Takumi)		
研究協力者	宗戸 俊樹 (Muneto Toshiki)		