

令和 5 年 10 月 25 日現在

機関番号：12301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K20368

研究課題名（和文）自律ロボットの認知状態提示によるインタラクション支援

研究課題名（英文）Enhancing Human-Robot Interaction through the Presentation of an Autonomous Robot's Cognitive State

研究代表者

福田 悠人（Fukuda, Hisato）

群馬大学・大学院理工学府・特任准教授

研究者番号：70782291

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：人とロボットの円滑なインタラクションの実現のため、自律ロボットの認知状態や行動選択等の内部状態を周囲の人々に提示する手法を検討した。移動ロボットの研究では、自律移動車いすに設置したエージェントロボットのジェスチャを用いて周囲の障害物の認知状態を提示する方法を提案し、実証実験で評価した。対話ロボットの研究では、対話相手の発話内容に対する認知状態を提示する方法として、発話内容に基づいて生成された画像を提示する方法を提案し、実証実験で評価した。その結果、両方の場面においてロボットの内部状態の提示が人-ロボットインタラクションを支援することを確認することができ、提案法の有効性を確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人と共存するサービスロボットが普及してきているが、ロボットのタスクや環境が複雑になると人との円滑なコミュニケーションがしばしば困難になる。例えば、移動ロボットは障害物を検知し停止したが、人はロボットの障害物判定の原則が分からないため、なぜ停止しているか理解できない場面もある。これの一つの要因は、人とロボットの間で認知能力や行動選択の規則に隔たりがあるためと考えている。本成果は、そのような問題の解決を目指すものであり、2つのロボット使用場面において、提案法の有効性を示すことができた。提示法の違いによる効果の検証には更なる調査が必要だが、今回の知見は人と共存するロボットの実現に役立つものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：To enhance Human-Robot Interaction, we studied a method of presenting the internal state of an autonomous robot, such as its recognition state and action selection, to people in its vicinity. In research on mobile robots, we proposed a method of presenting the recognition state of surrounding obstacles using the gestures of an agent robot embedded in an autonomous mobile wheelchair and evaluated it in experiments. In our research on dialog robots, we proposed a method of presenting a generated image based on the utterance of the dialogue partner and evaluated it in an experiment. As a result, it was confirmed that the presentation of the internal state of the robot supports the human-robot interaction in both situations, and the effectiveness of the proposed method was confirmed.

研究分野：ヒューマンロボットインタラクション

キーワード：ヒューマンロボットインタラクション 知能ロボティクス 自律ロボットの内部状態提示

1. 研究開始当初の背景

人の身の回りにいて、人と共存しながらタスクを実行するサービスロボットが広まってきているが、ロボットのタスクや活動する環境が複雑になると円滑にコミュニケーションを行うことが困難になる場合がある。例えば、環境中のオブジェクトに対して対話を行うようなシーンでは、人とロボットでは観測可能な範囲や能力に隔たりがあるため、対話が成立しないことや、ロボットの指示表現や振舞いが正しく伝わらないことがある。また、自律移動ロボットの場合では、ロボットは障害物を発見し停止行動をとったが、人がその障害物はわざわざ停止するほどのものではないと判断すれば、人はなぜそのロボットが停止行動をとっているか理解することは難しい。加えて、ロボットは必ずしも正しく環境を認識できているとは限らない。誤った認識はロボットに誤った振舞いを選択させ、人がそのロボットの行動選択を理解することをさらに困難にする。このような困難さは、環境の認識と行動選択において、人とロボットの間認識能力や行動規則といった隔たりがあるため生まれる。そこで、ロボットが周囲の環境をどのように認識し、どのように行動選択をしているかを人へ適切に提示することができれば、このような問題を解決できるのではと考えた。

本研究では、自律的に動作するロボットが周囲の環境の認識結果や行動選択といった内部状態をどのようにどの程度提示すれば、人とロボットの円滑なインタラクションを実現できるかという問いについて検討した。円滑なインタラクションのため、人は言葉や振舞いを用いて相手に自身の内部状態を伝える。また、コンピュータなどはディスプレイに表示されるメッセージやエフェクトを用いてその内部状態を伝えている。では、環境をセンシングし自律的に行動するロボットはどうか、人と同じように振舞うべきか、もしくはロボット特有の方法により対話をさらに促すことができるのか、本研究ではそのような疑問について検討した。

2. 研究の目的

本研究では、環境をセンシングし自律的に行動するロボットが人とのインタラクションを円滑に進めるための方法を、ロボットによる環境の認識結果や行動選択を含めた内部状態の提示といった観点から、それを実験的に明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

適切な提示情報や提示方法はロボットが活動するシーンにより異なると考えられたため、自律移動ロボットが人と同じ空間を移動するシーンと、人とロボットが対話を行うシーンを対象として研究を進めた。

自律移動ロボットが人と同じ空間を移動するシーンの研究では、環境中の歩行者や障害物をどのように認識しているかを搭乗者や周囲の人々へ伝達することが、協調した移動の実現や周囲の人々へ安心を与えることに寄与するかを調査した。そのため、車いすロボットの内部状態の提示方法として、車いすに設置したエージェントロボットのジェスチャを用いて提示する方法を提案し、その効果について検証実験を行い、評価した。

人とロボットの対話シーンについての研究では、ロボットが対話相手の発話内容を認識していることを伝達することで、対話の円滑化や促進にどのように寄与するかについて調査した。対話ロボットが対話相手の発話内容を認識している状態を伝達する方法として、発話内容に基づいて生成された画像をロボットに付属させたディスプレイに提示する方法を提案し、その効果について検証実験を実施し、評価した。

4. 研究成果

(1) 車いすロボットが人を乗せて自律移動するシーンについての検討

車いすロボットの認識状態を提示する方法として、車いすに設置したエージェントロボットのジェスチャを用いて提示する方法を開発した(図1)。このエージェントロボットは発話と身体の高さ、指さし等のジェスチャを利用して、周囲の人々へ車いすロボットの認識状態を提示する。車いすロボットは、自身のオドメトリの情報とLiDARから得られる環境情報を用いて自己位置を推定し、自律移動する。自己位置推定には、デッドレコニングとレーザ側域センサを用いたスキャンマッチングを用いている。スキャンマッチングにはあらかじめ作成した環境地図を用いて環境中の自己位置を補正する。歩行者、障害物の認識にはLiDARとWebカメラを組み合わせ、



図1. エージェントロボットがジェスチャを用いて認識状態を提示する様子

検出した障害物が人なのかそれ以外なのかを画像認識[1]により判別した。

提案したエージェントロボットによる提示の効果の評価するため実験を実施した。提示の有無を比較した実験では、車いすロボットが歩行者を避けて走行する場面を作り、車いすロボットの回避行動前に、エージェントロボットが視線と指さして認識状態提示を行う場合と行わない場合を比較した。歩行者役の実験参加者（10名）には双方を体験してもらい、実験後に官能評価のアンケートに回答してもらった。アンケートの質問は、Q1:ロボットが自分を認識していると思いましたが、Q2:ロボットが避けてくれると思いましたが、Q3:自律移動ロボットの動きに安心できましたか、Q4:すれ違う時の自律移動ロボットの動きに安心できましたか、Q5:自律移動ロボットが邪魔だと感じましたか、とした。官能評価の結果を図2に示す。すべての質問において、有意な差が確認され、エージェントロボットによる視線とジェスチャを用いた提示が車いすロボットの内部状態提示や行動の予期、安心などに寄与することが確認された。

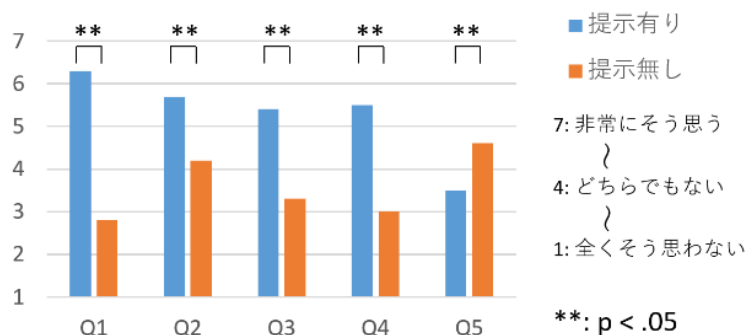


図2. 提示の有無による官能評価の結果

加えて、提示方法の違いを評価する実験を実施した。この実験では、エージェントロボットと車いすロボットの認識状態を記号やアイコンを用いて視覚的に周囲の人々に提示する方法と比較した。記号やアイコンを用いた提示ではプロジェクタを活用し、地面に提示を投影した(図3)。車いすロボットの搭乗者、歩行者への官能評価アンケートの結果、どちらの提示手法を用いても車いすロボットの認識状態を搭乗者や周囲の歩行者へ伝達できていた。エージェントロボットによる提示と記号やアイコンによる提示の比較では、搭乗者役の実験参加者への一部の質問(Q1「システムの挙動を予想しやすかった」、Q2「システムが障害物を認識していると感じた」)において、提示要因間で有意な差が確認されたことから、記号やアイコンによる提示手法の方が内部状態を正確に伝える効果大きいことが確認された。これは、エージェントロボットが認識対象を視線やジェスチャによるポインティングで示したのに対し、記号やアイコンによる提示では認識対象ごとに使用するアイコンを選択して提示しており、提示としての情報量に違いがあったことが理由だと考えられた。エージェントロボットによる提示の有効性を指示するような有意な差は官能評価アンケート結果からは確認されなかった。しかしながら、実験参加者からロボットのジェスチャによる対象物への視線誘導効果や親しみやすさへの効果を示唆するコメントを収集でき、アイコンによる提示とは異なる有効性が示唆された。まとめとして、それぞれの特性を考慮して提示手法を選択、組み合わせが有効であることが示唆される結果が得られた。



(a) エージェントロボットによる提示 (b) 記号やアイコンによる提示

図3. 車いすロボットの内部状態提示

(2) 人とロボットの対話シーンについての検討

人とロボットの対話では、ロボットがユーザの話した内容を正しく理解できているか確認できないことがあり、対話が継続しないことがある。このような人とロボットの対話シーンにおいても内部状態提示が対話を促進させるのかについて検討した。これでは、対話相手の発話内容に対する認識状態を提示するロボットとして、相手の発話内容に基づいて生成された画像を提示する対話ロボットを作成した(図4)。ロボットにはSoftbank社のNaoを用い、Wizard of Oz法を用いてユーザと対話するシステムを構築した。加えて、画像提示用のモニターを設置した。こ

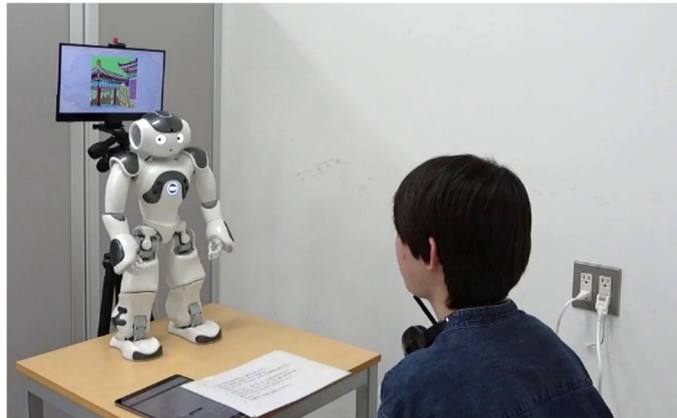


図4. ロボットが発話内容に対する認知状態を生成画像により提示する様子

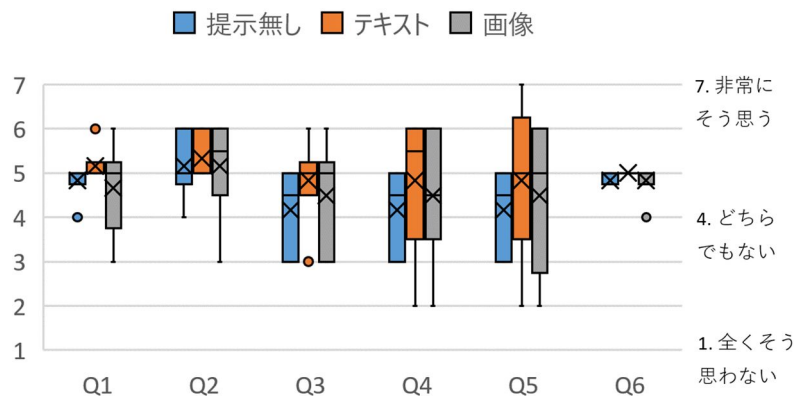


図5. 提示の有無による官能評価の結果

ーザの発話内容を描出する方法として機械学習に基づいた画像生成手法である Stable Diffusion [2]を採用した。画像生成には入力となる文章が必要となるが、これにはユーザの対話中の発話の音声認識結果を利用した。画像生成への入力は音声認識結果を英語翻訳し、“Illustration”のキーワードを追加した文を入力とした。この際に生成する画像は1枚とし、生成画像をロボットモニターに表示した。

提示の効果を検証するために実施した官能評価実験では、実験参加者(6名)に対話シナリオに基づいた発話と自由発話をしてもらい、対話ロボットについて官能評価アンケートとインタビューで評価してもらった。実験では、提示を行わない場合、音声認識結果のテキストを提示した場合、音声認識結果から画像を生成し提示した場合(提案法)を比較した。アンケートの質問は、Q1:話をしていて、楽しかった、Q2:ロボットに親しみを感じた、Q3:また、話したいと思う、Q4:自分の話を聞いていると感じた、Q5:話した内容を理解していると思った、Q6:安心して話すことができた、とした。官能評価アンケート結果を図5に示す。アンケート結果に対して検定処理を行い、差を評価したところ、いずれの質問においても有意な差は確認されなかった。また、実験参加者が3つの提示パターンを体験した後に行ったインタビューでは、どの条件がより話を聞いてくれていると思ったかについて聞いた。6名の参加者の内、3名はテキストによる提示または、画像を用いた提示が良いと回答し、残りの3名は差を感じなかったと回答した。また、テキスト提示の条件で「音声認識がたまに間違えていて、会話ができていない気がした」とのコメントがあった。

提示有り条件と無し条件では評価結果に差がみられると予想していたが、有意な差は確認されなかった。これは言語的な対話の成立を重視して評価した実験参加者もいたためと推察された。しかし、官能評価アンケートでは、提示無しの場合と比べ、テキストを用いた提示や画像を用いた提示での回答でより高い評点をつける実験参加者もいた。加えて、インタビューでも提案法に対する否定的な意見はなく、内部状態の提示が人-ロボットの対話の促進に寄与する可能性が示唆されたと考えられた。今後、実験設定の調整や実験参加者数を増やして、再度実験を行うことを検討している。

まとめて、本研究では車いすロボットが人を乗せて自律移動するシーン、人とロボットの対話シーンの両方において、ロボットの内部状態の提示が人-ロボットインタラクションを支援することを確認した。提示法により支援の特性は異なるため、活用に向けては、提示する情報の粒度や目的に合わせて手法を選択することや、組み合わせる使用することが考えられた。

<引用文献>

- [1] Liu, Wei, et al. Ssd: Single shot multibox detector. Computer Vision-ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, Proceedings, Part I 14. Springer International Publishing, 2016.
- [2] Robin Rombach, et al. High-resolution image synthesis with latent diffusion models. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 10684-10695, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

| |
|------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 寺尾道哉, 岡本真也, 福田悠人, 岩瀬勉, 三国司, 町田紀人 |
| 2. 発表標題 車載音声UIの発話タイミング提示がドライバの予期に与える影響の評価 |
| 3. 学会等名 ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 24, No. 8, SIG-CE-26, 2022. |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Hisato FUKUDA |
| 2. 発表標題 Human-Computer Interaction Technology that Assists in Using a Mobility System |
| 3. 学会等名 3rd International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE), 2023. (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 福田悠人, 鈴木亮太, 小林貴訓 |
| 2. 発表標題 対話ロボットのためのユーザの発話内容に基づく画像提示 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, 2023. |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|-------------------------------------------|
| 1. 発表者名 佐々木知紀, 福田悠人, 小林貴訓 |
| 2. 発表標題 誘導と追従を切り替えながら移動するロボットショッピングカート |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 金井浩亮, 福田悠人, 小林貴訓, 久野義徳 |
| 2. 発表標題 移動ロボットの認識状態提示に基づく歩行者との協調移動 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
| | | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |