

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02884

研究課題名（和文）対ロボット認知に基づくインタラクションの「間」の実践的意味づけモデル

研究課題名（英文）Cognitive Interaction Model of Interaction Gap in Human-Robot Interaction

研究代表者

今井 倫太（Imai, Michita）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・教授

研究者番号：60348828

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,500,000円

研究成果の概要（和文）：人とロボットのコミュニケーションにおいて、タイミングや「間」の観点から研究を行い、円滑なコミュニケーションの実現方法の研究を行う。成果の一つ目は、人がロボットとのコミュニケーションに対して感じる飽きを推定する手法を構築した。人の顔の向きから、コミュニケーションの飽きが推定でき、ロボットの会話の質を向上できた。二つ目は、リアルタイムで人の体動を模倣し、「間」を生成する手法を構築した。従来は時間遅延によって体動模倣を人に気がつかれないようにしていたのに対して、本研究では、体動模倣の大きさを変化させる方法を考案した。リアルタイムに気付かれずに体動模倣をし、人とのコミュニケーションを向上できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した手法は、人がロボットとのコミュニケーションをどのように意味付けるかの観点から、調査を行い、それに基づいて認識手法、行動生成手法を実現したところである。実験参加者にロボットとのコミュニケーション中の自分の心理状態を自信のビデオを閲覧してもらい構築したモデルは単純にセンサで客観的に計測したものではありません。人とロボットのコミュニケーションの質の向上に大きく貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：Our project studied communication between humans and robots from the viewpoint of timing and gap to achieve natural communication. The first result was to develop a method for estimating the tiredness that a person feels when communicating with a robot. Our method was able to estimate the tiredness of communication by detecting the direction of the human face and improve the quality of the conversation of the robot. Secondly, we constructed a method to imitate human body movements in real-time. Previous researches used a time delay to prevent humans from noticing the body movement imitation. Our study devised a method to change the size of body movement imitation. Our method was able to improve communication with people by imitating body movements.

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：知能ロボティクス 知能機械 認知科学

1. 研究開始当初の背景

会話や対話などのインタラクションでは、会話中の沈黙やタイミングのズレも暗に情報を伝える。しかしながら、沈黙やタイミングのズレといったインタラクションの「間」が運ぶ情報は、進行中のインタラクションの中で動的にしか捉える事ができず、コンピュータにとって扱いが困難である。また、人と機械の間のインタラクション自体がそもそも適切なタイミングで行われないとインタラクションの「間」の利用自体が不可能である。本研究は、インタラクションの「間」をコンピュータで認識可能にすると共にロボットが適切な「間」を取るようタイミングを調整することで、人間が「間」で表す非明示的な情報を扱い、人間とロボットの齟齬を減らすことを目指す。

インタラクションにおける発話やジェスチャの生成タイミングに関しては、エスノグラフィの手法を用いて人の会話を分析する研究が国内外の社会学の分野で行われている [P.Luff ' 15, H.Kuzuoka ' 10, D.McNeil ' 12]。また、国内では人の発話に対して適切なタイミングで頷くロボットの研究 [T.Watanabe ' 13] や、取るべき行動やあるべき機能が欠けている事によって人から手助けを引き出す弱いロボットデザインの研究 [M.Okada ' 14] が行われている。海外でも MIT のロボット Kismet [C.Breazeal ' 02] を代表に円滑なタイミングで人とインタラクションできるロボットの研究がヒューマン・ロボットインタラクション (HRI) 分野で行われている。インタラクションのタイミングやインタラクションの「間」を利用した研究は行われているが、インタラクションの「間」の存在を明示的に認識し、その背後に隠れている情報を推定し、「間」を調整したり、適応的にインタラクションしたりするロボットシステムは皆無である。

研究代表者は、人と人型ロボットのインタラクションにおいて音声及びジェスチャの生成タイミングや、生成内容の違いの影響について研究を行って来た。研究の結果、言葉及び身体による明示的な情報表現をある一定の範囲でロボットが扱えるようになった。しかしながら、人とロボットのインタラクションの「間」は、認識処理や生成処理の時間に由来しているため、人同士のインタラクションと異なり不自然である。実際にやりとりしていて物足りなさを感じる。特に人は言葉に表すことのできない情報を、「間」を用いて暗に表すが、処理時間のみに依存したタイミングで動作するロボットでは「間」を扱う事ができない。また、ロボットの背後で人が操作するテレプレゼンスロボットの場合、通信遅延によるタイミングのズレとインタラクションの「間」の区別が難しく使用者を混乱させる。人とロボットのインタラクションの不自然さを無くすと共に、齟齬の無い形でインタラクションするためには、ロボットがインタラクションの「間」のズレを調整することで「間」を担保すると同時に、人が取る「間」を認識したり、ロボットも「間」を生成できることが必要であると考え本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

人とロボットの円滑なコミュニケーションを実現するためには、インタラクションの「間」で暗に表わされる情報をロボットが扱える必要がある。しかし、発話やジェスチャの生成タイミングや沈黙といった「間」が持つ意味をコンピュータで捉えるのは困難である。そもそもロボットに対して人が「間」を用いるのかも不明である。本研究は、インタラクションの「間」を捉え意味づけする技術及び、ロボットに対して人が「間」を用いる要件に関して対ロボット認知の観点から研究する。

具体的には次の項目を明らかにする事を目標として研究を行う。

研究目的 1. インタラクションの「間」の動的な意味付け・認識する手法の研究

研究目的 2. インタラクションの「間」を生成し、調整方法の研究

人の対ロボット認知を考慮して「間」を扱うことで、実際に人に利用される実践的な意味付けモデルが構築でき、今後高齢者の増加、労働人口の減少において重要になる知的サービスシステムを実現していく上で重要な人と機械の共生系が構成できる取り組みである。

3. 研究の方法

研究目的1の研究手法

ロボットと人がコミュニケーションできるフィールド(実験室ならびに展示会)において、ロボットとコミュニケーションする人の振る舞いを、インタラクションの「間」の観点から分析する。分析の結果得られた「間」の分類に基づきラベル付き画像データを構築し、「間」の認識機構を構築する。具体的には、ロボットとのコミュニケーションに人が飽きてきたことによって生じる「間」を認識できる機構を構築する。また、構築したモデルを搭載したロボットを開発し、人がロボットとのコミュニケーションに飽きたことを判定するシステムを構築する。

研究目的2の研究手法

「間」が発生しても、コミュニケーションのリンク自体は切断することの無いようなロボットの振る舞い自体を中心に研究を行う。人同士のコミュニケーションにおいて、相手の行う動作を真似ると、相手から高い印象が得られ、コミュニケーションが円滑に進むことが知られている(カメレオン効果と呼ばれる)。一方で、真似ていることが相手にばれると、評価がかえって悪化してしまう問題も存在する。研究目的2では、「間」が発生してもコミュニケーションリンクを継続できる仕組みを開発する。ロボットとコミュニケーションする人の体動をカメラで取得し、ロボットがもともと体動と合成することで、カメレオン効果を実現する。特に、従来提案されているカメレオン効果を狙った体動生成方法は、人の動きを時間遅れで再生するものであった。しかしながら、体動による「間」の発生自体も、時間遅れの影響を受けてしまい、コミュニケーションの意味が変わってしまう恐れもある。本研究では、カメラで取得した人の体動を遅延少なくロボットの体動に反映させ、カメレオン効果が発生させる手法を構築する。

4. 研究成果

研究目的1.の研究成果

実際の展示会で一方的に発話し続けるロボットを設置し、ロボットに対して興味を持った人間が興味を失っていく過程を撮影した。人間の発話に応答することなく一方的に発話し続けるロボットは人間にとって非常に飽きやすいため、ロボットに興味を持った人間が興味を失う過程を撮影することができた。ロボットに対する実験協力者の興味の変化が撮影された映像に対して、映像中の人物が映像のどの時刻でロボットに興味を失いはじめたかと、映像中のどの時刻でロボットに興味を失ったかをアノテーションした。また、実験協力者によってアノテーションされた時刻までに来場者がとった行動の調査を行った。

展示場でロボットに対して興味を持って話を聞いていた来場者は男女系72名であった。また、来場者の映像を男性8名、女性2名の実験協力者により視聴してもらい、アノテーションを行った。

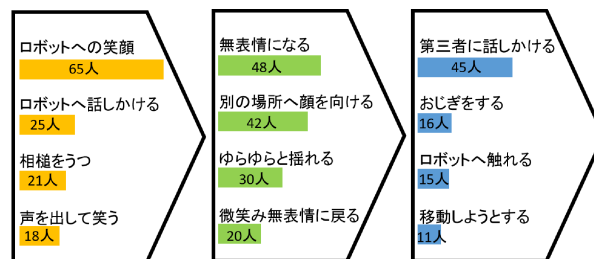


図1. ロボットへの興味に対する人の行動の変化

ロボットに興味を持った来場者が興味を失っていくまでを撮影した映像を解析した結果、映像中の人物は図1に示す行動を表出していた。ここで、来場者がロボットへ興味を失った時刻は、実験協力者の70%以上が興味を失ったとアノテーションした時刻としている。ロボットに興味を持った来場者が興味を失っていく過程において、来場者の行動に着目すると表出される行動には順序があることがわかった。興味を失って行く過程の行動の順序に着目することで、人のロボットに対する興味を推定できると考えられる。図1に示す、人間の行動の三つのブロックは、ロボットに興味を持ってから興味を失っていく過程において表れた人間の行動を順にならべたものである。

図1の第1段階目のブロックは来場者がまだロボットに興味を持っている状態で見られた行動である。ロボットへ笑顔を向けたり、ロボットの話に相槌を打ったりとロボットに対して友好的な行動が見て取れる。第2段階目のブロックはロボットに対して興味を失いかけている状態である。ロボットに対して興味を持っていた人間が笑顔から無表情へと変わり、別の場所へ顔を向け始める。第3段階目のブロックはロボットに対して興味を完全に失っている状態である。第3者に話しかけたりと、ロボットの話の聞かなくなり、話し続けるロボットを放置しその場を離れてしまうこともある。

図1から、ロボットへ笑顔を向けたりロボットへ話しかけたりするなど、ロボットに対して友好的な行動を取る場合は人間がロボットに対して興味を持っている場合と考えられる。対してロボットへ興味を失った人間は、ロボットが発話しているにもかかわらず第三者へ話しかけたり、別の場所へ顔を向けるなどの行動を行うようになる。ここで、多くの人間が興味を失うまでに表出した行動に着目すると、大多数の行動が人間の頭部方向に着目することで識別できる行動であることがわかる。そのため、本研究では人間の頭部方向に着目することで興味の度合いを推定できると考え、興味推定を行う Interest-Estimator の開発を行った。

人間の顔がロボットへ向いているかを検出する手法として、二次元の映像情報から人間の顔とその視線方向を検出することができる OpenFace を用いた。Web カメラから取得した映像から HOG 特徴量を用いて顔を検出し、検出した顔からランドマーク推定を行う。予め用意された3次元ランドマーク情報へのフィッティングを行い、顔の3次元的な向きと位置を取得する。なお、本研究では1対1の対話を想定し、興味推定は1人の人間に着目して行う。

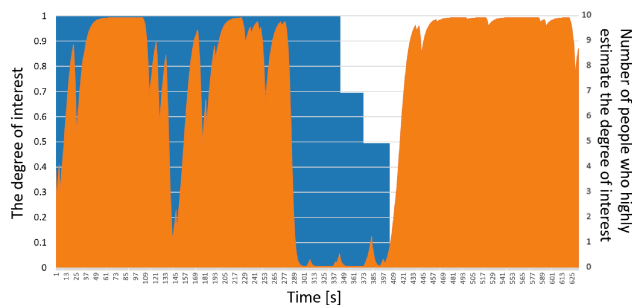


図 2. ロボットとコミュニケーションしているときの人の頭部方向(オレンジのグラフが高い値を取っているときロボットの方を見ている)と、ロボットに対する人の飽きの推定値の時間変化(青いグラフの値が大きいとき人はロボットに興味を持つ)

人のロボットへの興味のアノテーションを付けた来場者の頭部方向の振る舞いより、人のロボットとのコミュニケーションへの飽きを推定する手法を構築した。頭部方向の時系列変化とアノテーションを用いることで、ベイズ推定により頭部後方に対する人の興味度の値を出力するようになっている。実験参加者とロボットが対面会話する実験を行い、図2に示す興味度を出力させた。図2のオレンジのグラフが高い値を取っているときロボットの方を見ていることを示しており、人の顔の向きに応じて、ロボットへの興味を推定する。図2の青いグラフの値が大きいとき人がロボットに興味を持つと推定されている。

構築した推定手法の性能を評価するために、ロボットと実際にコミュニケーションした実験参加者に、録画した自身のコミュニケーション中の映像を閲覧してもらい、自信がロボットとのコミュニケーションに飽きたタイミングを回答してもらった。その回答を真値とし、推定結果の性能を評価した。

推定手法の正確性(73.1%)、再現性(70.0%)、F値(71.5%)は、概ね7割の性能を示した。人の顔の向きという単純な特徴量を用いながらも、実用性のある性能が得られている。また、推定手法を実際のコミュニケーションロボットに搭載し、人が飽きたという推定値が得られた場合、ロボットが人とのコミュニケーションを終了する手法を構築した。実際には、「僕の話に飽きちゃったかな、これで終わるね。」とロボットはコミュニケーションを終了する。展示会で一般来場者にコミュニケーションの終了機構を持つロボットとのコミュニケーションを体験してもらった。概ね期待通りの性能が得られることを確認した。

研究目的2.の研究成果

研究目的2の研究では、人とロボットの会話場面を想定したロボットの体動生成手法 Reactive Chameleon を構築した。Reactive Chameleon では、会話相手の体動を気付かれないように模倣することで好印象を得られるカメレオン効果をもたらすため、ロボットが会話相手の体動を模

Algorithm 1

```

if _____ then
else
end if

```

倣する。ロボットが体動の模倣をする際、模倣の大きさを動的に調整したり、あらかじめ用意されたロボット独自の体動と会話相手の体動を合成することによって、会話相手にロボットが体動を模倣していることが気付かれることを防ぐ。通常のカメレオン効果の手法では、時間遅れを導入し気付かれることを防いでいるのに対して、Reactive Chameleon では、模倣体動の大きさを変更することで、時間遅れ無くカメレオン効果を実現している。具体的にはアルゴリズム 1 で示す方法で、閾値の前後で人間の体動をロボットの体動に採用する大きさ（模倣率）を変化させている。

図 3 に人とロボットの体動の統合の結果を示す。ロボットは独自の体動動作を持ち（緑色の時間変化の線）、人の体動動作（青色の時間変化の線）と模倣率を加味して統合され、ロボットのモーター値（赤色の線）が合成される。縦軸は、体動によって生じる人とロボットの左右方向の体の位置を示しており、横軸は時間である。 の領域は、人の体動の大きさが小さく、大きな模倣率でロボットの動きと統合されている。 の領域は、人が大きく動くので模倣率が小さくなり、人に分からない大きさでロボットの体動と統合されている。

Reactive Chameleon で生成された体動を行うロボットと会話を行うことで、人がロボットに対して持つ印象に影響があるか検証するために実験を行った。実験では、Reactive Chameleon で体動を行うロボット、ロボット独自の揺れのみを行うロボット、体動を一切行わないロボットの 3 条件で比較を行った。

実験の結果、ロボットの印象において、Reactive Chameleon で体動を行うロボットが最も高く、有意差が確認された。また、話しやすさにおいては、Reactive Chameleon で体動を行うロボットが最も評価が高く、有意傾向が見られた。これらの結果は、人に代わってサービスを提供するロボットといった日常的に人と会話するロボットのコミュニケーションに「間」を生成する一つの手法を示していると言える。

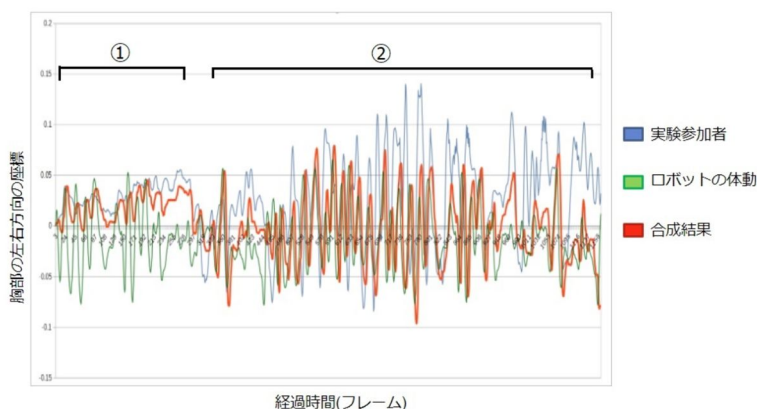


図 3. 人とロボットの体動の統合の結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 松元 崇裕, 後藤 充裕, 石井 亮, 渡部 智樹, 山田 智広, 今井 倫太 | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 複数ロボットとの位置関係がユーザの対話負荷に与える影響 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 | 6. 最初と最後の頁 340-353 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 水丸和樹, 坂本大介, 小野哲雄 | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 複数ロボットの発話の重なりによって創発する空間の知覚 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 | 6. 最初と最後の頁 2279 - 2287 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ryo Kitagawa |
| 2. 発表標題 Estimation of interest in interaction with robots |
| 3. 学会等名 The Workshop on Human-Robot Interaction through Virtual Reality (held at IEEE Ro-MAN 2018) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ryosuke Taniguchi |
| 2. 発表標題 Signal Restoration based on Bi-directional LSTM with Spectral Filtering for Robot Audition |
| 3. 学会等名 IEEE Ro-MAN2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kazuhiro Nakadaï |
| 2. 発表標題 Development of VR-based Bird Song Scene Analysis System |
| 3. 学会等名 IEEE Ro-MAN2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大内 昂 |
| 2. 発表標題 音声対話システムは敬語を使うべきか：発話の丁寧さと印象の比較調査 |
| 3. 学会等名 HAIシンポジウム2018 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kiyona Oto |
| 2. 発表標題 Investigating how people deal with silence in a human-robot conversation |
| 3. 学会等名 IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Shiori Sawada |
| 2. 発表標題 Agent Auto-Generation System : Interact with your favorite things |
| 3. 学会等名 IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松森 匠哉 |
| 2. 発表標題 ユーザモデルにもとづいて発言タイミングを決定するプレディクティブチャットボット |
| 3. 学会等名 情報処理学会第80回全国大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 北川 遼 |
| 2. 発表標題 人間とロボットとの対話環境における対話終了タイミングの検討 |
| 3. 学会等名 クラウドネットワークロボット研究会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大藤 聖菜 |
| 2. 発表標題 予測的認知と「間」の関係 言葉を話せないロボットによるしりとりを題材とした考察 |
| 3. 学会等名 HAIシンポジウム2017 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 吉岡 駿 |
| 2. 発表標題 対話ロボットによる割り込みに対する人間の反応の分析 |
| 3. 学会等名 クラウドネットワークロボット研究会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 水丸 和樹 |
| 2. 発表標題 複数ロボットの発話の重なりによって創発する空間の知覚 |
| 3. 学会等名 HAIシンポジウム2017 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大西 紗綾 |
| 2. 発表標題 ぬいぐるみロボットを用いた休憩タイミング提示システムの提案 |
| 3. 学会等名 HAIシンポジウム2017 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuuki Yasumatsu |
| 2. 発表標題 I Can Help You: Altruistic Behaviors from Children towards a Robot at a Kindergarten |
| 3. 学会等名 the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Satoru Satake |
| 2. 発表標題 Is a Robot a Better Walking Partner If It Associates Utterances with Visual Scenes? |
| 3. 学会等名 the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大澤正彦 |
| 2. 発表標題 前頭前野Accumulatorを用いた複数の機械学習器の調停と認知アーキテクチャへの応用 |
| 3. 学会等名 第4回汎用人工知能研究会 |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 北川 遼 |
| 2. 発表標題 視線と移動速度に基づいた興味推定システム |
| 3. 学会等名 情報処理学会 第79回全国大会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 大藤 聖菜 |
| 2. 発表標題 人間とロボットの会話における「間」のデザイン |
| 3. 学会等名 情報処理学会 第79回全国大会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 大藤 聖菜 |
| 2. 発表標題 人間とロボットの会話における「間」の検討 |
| 3. 学会等名 HAIシンポジウム2016 |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Masahiro Kitagawa |
| 2. 発表標題 Mutual Adaptation between a Human and a Robot Based on Timing Control of Sleep-time |
| 3. 学会等名 4th International Conference on Human-Agent Interaction (HAI 2016) (国際学会) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Tetsuo Ono |
| 2. 発表標題 Emergence of Joint Attention between Two Robots and Human using Communication Activity Caused by Synchronous Behaviors |
| 3. 学会等名 IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (IEEE RO-MAN 2016) (国際学会) |
| 4. 発表年 2016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 |
|-------|---|---|----|
| 研究分担者 | 小野 哲雄 (Ono Tetsuo) (40343389) | 北海道大学・情報科学研究科・教授 (10101) | |
| 研究分担者 | 中臺 一博 (Nakadai Kazuhiro) (70436715) | 東京工業大学・工学院・特任教授 (12608) | |