

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14619

研究課題名（和文）セマンティックマップを用いた先回り行動によるストレスフリー生活支援ロボットの開発

研究課題名（英文）Development of stress-free human support robot by proactive action with semantic map

研究代表者

萬 礼応 (Yorozu, Ayanori)

慶應義塾大学・理工学研究科（矢上）・特任助教

研究者番号：40781159

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）：人とロボットのストレスフリーなインタラクションを実現するためには、周囲の物体や人との関係に基づき、人の動きを認識、予測する必要がある。移動する人や椅子、移動しないテーブルや棚など、物体の移動属性情報を付加したセマンティックマップを構築し、事前地図とセンサ情報の対応付けの重要度を物体の移動属性に基づき変えることで、環境の変化に対しても自己位置を見失いにくい手法を提案した。また、歩行者の動きを予測するために、取得した両脚の位置、速度および歩行位相から、人の姿勢角を推定する手法を提案した。さらに、ロボットが人に接近する際の心理的な影響を視覚、聴覚に着目して評価し、心理的空間モデルを設計した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

移動する歩行者や配置が変化する物体などが存在する動的な環境において、物体情報として移動や位置変化の時間スケールを考慮した属性をマップ上に付加することで、ロバストな自己位置推定を実現することが可能であり、移動ロボットの個別の技術としても汎用性が高い手法を確立した。また、足元のセンシングから上体の姿勢角を推定する技術は、ロボットに限らず、福祉分野における現場での高齢者の歩行計測などへの応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：For stress-free human-robot interaction, it is necessary to recognize and predict human motion based on the relationship between surrounding objects and humans. However, in the human living space, the kidnapped robot problem tends to be occurred due to moving objects. In this study, classes of objects and their movement attributes were defined and a semantic map that includes the attributes of objects were proposed. By changing the importance of the correspondence between the map and the sensor information based on the class and attribute of the object, we proposed a robust localization to prevent the problem even when the environment changes. In addition, to predict the movement of pedestrian, an estimation of body direction based on the acquired position, velocity and gait phase of both legs was proposed. Furthermore, we evaluated the psychological effect of the robot approaching human, focusing on the visual and auditory sense, and modeled a psychological spatial domain.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：セマンティックマップ 自己位置推定 歩行者の姿勢推定

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

少子高齢化による本格的な超高齢化社会の到来とそれに伴う労働力不足など深刻な社会課題に直面し、高齢者の生活支援等のニーズが増大することが予測されている。この問題に対して、家庭や病院などの生活環境で人をサポートする生活支援ロボットの研究が盛んに行われている。これまで、人（ユーザ）からの指示や視線、移動軌跡など現在時刻の状況評価に基づき、指示された物体を取ってくる、歩行者を回避するなどの動作計画を行う手法は提案されてきたが、ロボットのサービス提供の遅れが大きく、ユーザはロボットの動作に対してストレスを感じるという課題があった。そのため、人の次の行動予測に基づく、先回りのサポートによるストレスフリーな生活支援が求められている（総務省、次世代人工知能推進戦略）。本研究では、物体や領域の位置情報に加えて、用途などの意味情報を付加した環境のセマンティックマップを構築し、人の移動軌跡と物体の位置・意味情報の評価による人の行動予測と、予測した行動に対して、知識を参照し、動作に必要な条件と実際の環境の評価に基づき、事前に通路を譲るなどのヒューマンロボットインタラクションやドアを開ける、進行方向にある障害物を片付けるなどの生活支援のための先回り行動を生成する動作計画手法を提案する。

申請者はこれまで病院内で資材を搬送する自律全方位移動ロボットの研究に携わり、人の脛の高さに設置した二次元平面の距離情報を取得可能なレーザレンジセンサ（LRS: Laser Range Sensor）を用いて、自己位置推定と環境地図の生成（SLAM: Simultaneous Localization and Mapping）と、環境中の歩行者を検出、追跡する技術を開発した。また、その技術を応用して、両脚の移動軌跡を高精度に取得可能な歩行計測技術を確認し、追従する歩行者の動きに合わせて案内などを行うための先導走行技術を開発した。しかし、両脚の位置、速度の履歴などの評価のみでは、人の行動や意図を予測することは困難である。そこで、環境中の物体や領域の位置情報に加えて、用途などの物体の意味情報を付加したセマンティックマップを RGB-D カメラを用いて構築し、人の移動軌跡や物体の位置情報などの空間情報と物体や領域の用途などの記号・意味情報の評価により、人の行動予測に基づく先回り動作計画手法を提案する。

2. 研究の目的

生活空間においては、人などの動的物体が存在することに加えて、椅子などの家具も移動し、事前に作成した環境地図とセンサ距離情報の形状が正しくマッチングできず、自己位置推定精度が低下する。これにより、人の行動予測やロボットの行動計画が困難になる場合がある。そこで、LRS による二次元情報に加えて、深層学習と RGB-D カメラを用いた三次元物体認識により、物体の意味情報を付加したセマンティックマップを生成する手法を開発する。その際に、環境中の物体を人などの動的物体、椅子・ドアなど移動、操作可能な準動的物体、テーブル・本棚などあまり移動しない準静的物体、壁など移動しない静的物体の4種類に分類し、階層的な物体のプロパティとしてセマンティックマップ上に埋め込む手法を提案する。また、検出した物体を4種類に識別し、重み付けを行うことで、環境の変化に対してロバストな自己位置推定手法を提案する。

歩行者の両脚の移動軌跡などの時空間情報と構築したセマンティックマップを用いた記号・意味情報の同時評価により、人の意図・行動予測を行う。さらに、両脚の移動軌跡に加えて、体の姿勢の履歴も、人の行動意図の推定には重要なパラメータの一つであるため、インタラクションを行う可能性があるロボット周囲に存在する歩行者の上体の姿勢を広範囲に検出するために、LRS を用いた体の姿勢推定手法を提案する。そして、セマンティックマップ上の物体の意味情報と検出した人の深層学習による年齢、性別推定（登録ユーザの認識）結果に基づき、椅子に座る、部屋からの入退出など、人の行動を予測する技術を開発する。

そして、予測した人の行動に対して、事前に作成した人の行動オントロジーを参照し、入室時にドアは開いている必要があるなど、条件を抽出し、実際の環境との評価から、ロボットに必要な動作タスクを抽出することで、先回り行動を実現する。

3. 研究の方法

(1) 物体の属性を考慮したセマンティックマップと自己位置推定

ロボットの自己位置推定においては、一般的に事前に作成した占有格子地図とレーザレンジセンサ等の測域センサで計測した物体の位置の対応付けを行うことで、尤もらしい自己位置を推定する。自己位置の推定にはパーティクルを用いた、AMCL(Adaptive Monte Carlo Localization) が一般的によく用いられる。しかし、人の生活環境において複数名の脚、床に置かれた荷物などによって、事前作成した環境地図と LRS で検出した物体の対応付けが困難になり、自己位置をロストして回復できない誘拐状態に陥る問題が生じることを確認した。そこで本研究では、物体の名称であるクラスと、その物体の移動属性（人からの作用により物体が移動しない可能性）として固定率を付与し、事前地図にもクラスと移動属性を付与して、検出した位置、クラス、移動属性、物体認識率を用いてパーティクルの重みを更新することで、パーティクルが誤った位置に収束することを回避し、誘拐状態に陥りにくい自己位置推定手法を提案した。レーザで検出した物体のクラスの認識には、画像による物体認識アルゴリズム YOLO ver.3 を用いて、レーザで検出した位置の物体にクラスと移動属性を与えた。また、物体のクラスに対応する固定率は、壁や机など移動する可能性が低いクラスに対しては高く、椅子や人など移動する可能性が高いクラスに対しては小さい値を事前に設定して与えた。

(2) 人の行動推定のための歩行位相に基づく体の向き推定

先回り行動を行うためには、ロボット周囲の人の動き認識し、予測する必要がある。申請者はこれまで、ロボットに搭載した二次元平面の広範囲な距離情報を取得可能な LRS を用いて、歩行者の両脚を立脚・遊脚の歩容を含めて測定可能な技術を開発した。

さらに、人の体の向きは人の状態に応じて、ロボットの行動を決定する場合においても重要な観測情報であることが先行研究において、述べられている。また、ロボットが、様々な方向から接近する歩行者に対して即座に反応して、HRI を行うためには、人の位置・速度、さらには姿勢角を数メートル先から認識することが必要である。先行研究において、腰や胸の高さに設置した LRS を用いて姿勢角を推定する手法も提案されているが、対象者の身長が異なる場合に計測精度に差が生じることが報告されている。そこで本研究では、太さの個人差が小さい脚の情報を使うことで、体形による影響を低減し、少ないセンサで広範囲の計測を実現するために、脚の高さに設置した LRS のみで歩行者の体の向きを推定する手法を提案する。先行研究において、体の移動方向から姿勢角を推定する手法が提案されているが、急な方向転換や後退時には、精度が低下する。本研究では、両脚の位置・速度、歩行位相に応じて、姿勢角の観測値の算出方法を切り替えることにより、旋回や後退運動時にも体の向きを推定可能な手法を提案した。

(3) HRI における心理的空間領域の分析

ロボットが人に接近する際に、会話中の人を遮るように移動することや対象者に接近しすぎることにより、人に対して不快感や煩わしさ、ストレスを与えてしまう場合がある。本研究で目標としているストレスフリーな支援を行う際に、ロボットが人に与える心理的な空間を分析し、モデル化することが必要である。人の心理的空間を考慮した先行研究として、パーソナルスペースなどがあるが、人対人の関係に対してモデル化されたものであり、人対ロボットの関係に直接適用することは困難である。また、ロボットの動作音や人との視覚的な違いの影響も考慮して、心理的空間モデルの設計を行うことも必要である。そこで、人・ロボット間で交流が生じる場面設定で被験者実験を行い、ロボットサービスを受ける人の実感に基づく心理的空間の大きさを測定し、心理的空間領域モデル化のための足掛かりとする。また、人が集中を阻害される主要因の2つである、視覚と聴覚に着目し、どちらの影響が大きいのか分析する。

4. 研究成果

(1) 物体の属性を考慮したセマンティックマップと自己位置推定

複数名の人が存在することで、自己位置の誘拐問題が生じやすい環境を図 1 に示すように、Gazebo シミュレータで再現し、提案手法の有効性を検証した。図 1(b) に示すように、従来の AMCL では、周囲に移動する可能性の高い物体が多く存在して事前に作成した地図と LRS で取得した点群の形状が似通った位置が存在する場合に、誤った位置にパーティクルが収束してしまい、再び壁や机など静止物体が観測できる位置に移動しても正しい位置にパーティクルが集まらず、自己位置をロストした誘拐状態に陥ってしまう。これに対して図 1(c) に示すように提案手法では、物体の移動属性を考慮することで、周囲に移動する可能性の高い物体が多く存在して、自己位置に確信が持てない状況に対して、誤った位置にパーティクルが収束することを回避することで、再び壁や机などの静止物体が観測できた場合に正しい位置にパーティクルが収束して、自己位置推定が可能であることを確認した。また、従来の AMCL では誘拐状態に陥ってしまう状況に対して、実機実験を行い、提案手法の有効性を検証した。

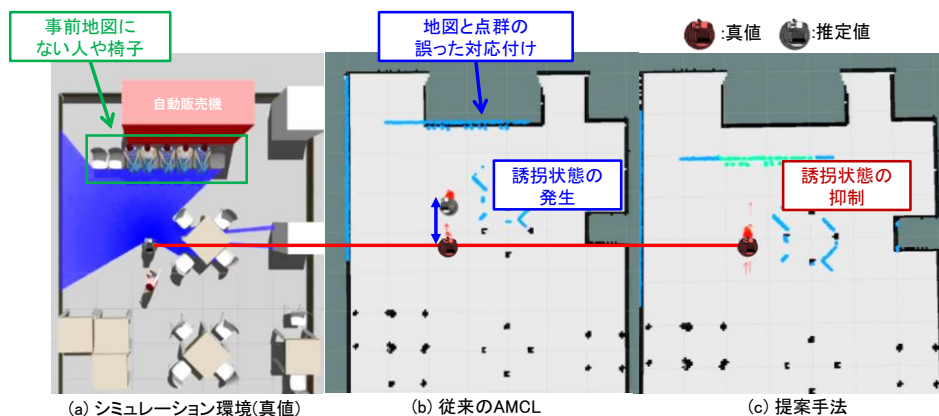


図 1 物体の属性を考慮した自己位置推定結果

(2) 人の行動推定のための歩行位相に基づく体の向き推定

人がロボットに接近する際に見られる歩行(直線的に接近・後退、旋回、Uターン)に対して、提案手法を適用し、体の向きの計測精度を三次元動作解析装置を用いて検証した。比較手法として、先行研究の両脚中心の移動方向から姿勢を推定する手法の検証も行った。直進的に接近する場合や緩やかに旋回するような歩行に関しては、従来手法でも推定は可能であるが、後退やUターンなど急な方向転換を伴う歩行に対しては、姿勢角を 180 deg 誤って認識してしまう場合があ

った。これに対して、歩行位相に基づき姿勢角を推定する提案手法では、後退や U ターンにおいても姿勢角を 180 deg 誤って認識することなく計測できることを確認した。また、誤差の絶対値の平均が±10 deg 程度であり、先行研究の周囲から複数の LRS で上体を直接計測する手法と同程度の精度で姿勢角を計測できることを確認した。

(3) HRI における心理的空間領域の分析

対話中（傾聴時、発話時それぞれ）の被験者にロボットが接近し、被験者がロボットの挙動により集中が困難と感じた距離を計測した。また、ロボットが接近する際の視覚情報と動作音などの聴覚情報のどちらの影響が大きいか比較するために、被験者にはノイズキャンセリングにより周囲の音が聴こえないヘッドホンがありとなしの状態で検証を行った。14 名の被験者実験を行い、t 検定から環境音とロボットの動作音の大きさの差が、ロボットが人に接近する際の心理的空間のパラメータに影響していると考えられる。従って、人が感じるロボットの動作音の大きさと環境音の大きさに応じて、心理的な空間の大きさが変化するモデルを適用することが有効であることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 原田大毅, 萬礼応, 高橋正樹
2. 発表標題 ロボットサービスが人の集中力に与える影響の定量的分析と心理的空間領域のモデル化
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 原田大毅, 萬礼応, 高橋正樹
2. 発表標題 環境変化による誘拐状態抑制のための物体の属性を考慮した自己位置推定
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ayanori Yorozu and Masaki Takahashi
2. 発表標題 Service robot using estimation of body direction based on gait for human robot interaction
3. 学会等名 the 15th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (国際学会)
4. 発表年 2018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
---------------------------	-----------------------	----