

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04389

研究課題名（和文）動的接触インタラクションが可能な子どもと遊ぶ生活支援ロボットの実現

研究課題名（英文）Realization of a Life Support Robot that Plays and Interacts with Children through Dynamic Physical Contact

研究代表者

廣井 富 (Hiroi, Yutaka)

大阪工業大学・ロボティクス&デザイン工学部・准教授

研究者番号：80405927

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、ロボットと人が共に動いた状態で、ロボットが人に“タッチする”ことが可能な生活支援ロボットを実現することである。具体的には“鬼ごっこ”を開発モデルとして扱い、1.高速に移動する人を追従することが可能なロボットシステムの開発と2.“タッチする”ことが可能な生活支援ロボットの開発の実現を目指した。前者は閾値形状を円形にすることで解決し、後者は1自由度アームを有した生活支援ロボットを開発した。プレイヤーに対し、安全にタッチが可能な“Touch-and-Away”動作を開発し、シミュレーション環境と実機環境下で検証し、ロボットと人が共に動いた状態でタッチを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、少子化や一人っ子の増加の影響により、子どもの運動能力の低下が指摘されている。本研究は、ロボットと子どもが共に走る状態で、ロボットが子どもに“タッチする”ことが可能な「子どもと遊ぶ生活支援ロボット」の実現を目指した。これまでの生活支援ロボットでは共に動いた状態で“タッチする”は実現が困難であった。本システムが確立されると、家事支援、伝統的遊びの継承、子ども同士のコミュニティ支援、リレーのコーチロボット等への応用展開が可能になる。

研究成果の概要（英文）：We have developed a robot that plays tag as “it.” The robot used a 2-D Laser Range Finder to track the player. It chased the player by generating a circle around the nearest player and moves towards the target point on the circle. Then, the robot touched the player at the nearest point of the player and moves away. To implement the touch behavior, we implemented two arms on the robot. When the robot approaches the player's vicinity, the arm facing the player is deployed horizontally to perform the touch operation. The arms have one degree of freedom and deactivate when the threshold for touch is exceeded. The purpose of this research is to verify the behavior of a one-degree-of-freedom arm that can perform touch operation on an ogre robot playing tag.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ロボティクス ヒューマン・ロボットインタラクション 遊びロボット 生活支援 子ども

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、少子化や一人っ子の増加の影響により、子どもの運動能力の低下が指摘されている。本研究は、ロボットと子どもが共に走る状態で、ロボットが子どもに“タッチする”ことが可能な「子どもと遊ぶ生活支援ロボット」の実現を目指す。

研究代表者は、病院等において被介護者が介護者の助けを借りず、自分だけで操作可能なロボットの開発を行った。具体的には、飲み物を運ぶことやカーテンの開け閉めが可能なロボットアームを搭載したロボットである。また、ロボカップ@ホームリーグに参加し、顔画像や音声認識およびジェスチャ認識を用いて、人とのインタラクションを可能にした。しかし、これらは人が基本的にはある場所から移動しない状況におけるインタラクションであった。これを「静的なインタラクション」と定義する。次に研究代表者は、基盤(C)において、人とロボットが共に動く状況に対応できる「動的なインタラクション」を実現するロボットの開発を目指した。具体的には、“だるまさんが転んだ”を開発モデルにその鬼役を行うロボットの開発をした。ひとつのレーザ距離センサ(以後 LRF と略す)のみを用いて、プレイヤーが動いていないか判定(アウトの判定)することに成功した。これを実現するために、プレイヤーの腕と胴体が重なったとしても、人位置を算出するアルゴリズムと、プレイヤー同士の重なりに対しても、再検出可能なアルゴリズムの開発をした。さらに、鬼役をするロボットが止まっているプレイヤーに対し、タッチを可能にするアームを開発した。具体的には、人までの距離を LRF で計測し、その距離に応じて伸び縮みするアームである。しかしながら、これはロボットも人も止まっている状態におけるタッチである。

ロボットと人のタッチの段階は3段階にわけることができる。本研究は、ロボットは鬼役のみを行うものとする。鬼ごっこを開発モデルとすると、“鬼(ロボット)からプレイヤー(人)へのタッチ(静止した状態でタッチ)、鬼(ロボット)からプレイヤー(人)へのタッチ(ロボットが人へ移動してタッチ)、鬼(ロボット)からプレイヤー(人)へのタッチ(お互いに動いている状態でタッチ)の解決が必要である。とくに、人は、人と適切な間合いを保ちながら、お互いに動いている状態でタッチすることが必要なため、これまでの生活支援ロボットでは実現が困難であった。さらに、“鬼ごっこ”の実現には、人を検出する、人を追跡する、人に安全に接近する、人に安全にタッチする、ことが求められ、とくに子どもが走ることに対応する高速な人追従技術、人に衝突しない安全な追従走行する技術が要求される。本研究では、これらの技術確立を達成する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ロボットと子どもが共に走る状態で、ロボットが子どもに“タッチする”ことが可能な「子どもと遊ぶ生活支援ロボット」を実現することである。具体的には、“鬼ごっこ”を開発モデルとして扱い、

- (1) 高速に移動する人を追従することが可能なロボットシステムの開発
- (2) “タッチする”ことが可能な「子どもと遊ぶ生活支援ロボット」の開発の実現を目指す。

3. 研究の方法

まず、本研究における「鬼ごっこ」のルールについて定義する。鬼とプレイヤーは1名ずつで鬼役をロボットが行う。鬼がプレイヤーにタッチするとゲームが終了する。なお、これらは室内で行うこととする。「鬼ごっこ」を実現するためには、以下の動作の実現が必要となる。

- (1) 鬼がプレイヤーを見つける
- (2) 鬼がプレイヤーを追いかける
- (3) 鬼がプレイヤーをタッチする

人同士の鬼ごっこの場合には、後ろから近づいてそのままタッチする場面がよくある。しかし、この動きをそのままロボットへ適用しようとする、プレイヤーが急停止した場合にロボットが対応できず、ロボットがプレイヤーに衝突する危険性がある。そこで、プレイヤーから離脱を行いながらタッチをするシステムの開発を行う。

具体的には、プレイヤーに近づく際にロボットはプレイヤーの周りに仮想円を配置し、その接点に向かって移動する。円の半径は、ロボットのアームの長さと同様である。その後、離脱する。プレイヤーの横を通過する際にロボットは搭載したアームを伸ばし、プレイヤーに接触することでタッチ動作を実現する。この動作を行うために4つの動作を行う。これを本研究は、「“Touch-and-Away”動作」と呼ぶ。

- ・人検出
- ・追従点の決定(接点の選択)
- ・追従点への追従(人追従)
- ・人からの離脱(タッチ動作を含む)

仮想円には2つの接点があり、プレイヤーが動いていることを考慮し、この接点を選択する必要がある。プレイヤーが接点方向へ移動している場合に、ロボットはプレイヤーと衝突する可能性がある。そこで、ロボットはプレイヤーの移動方向と反対方向へ移動する。

人検出と人追従の手法の基本的な部分は、Hiroi らが開発した手法を用いた[Hiroi et al. JMMT 2012]。一人の人をロバストに追従し続けることが可能であり、人の中心座標の取得が可能である。本手法は、人の中心座標が閾値内に入っている場合に、追従し続ける。研究目的の一つである「高速に移動する人を追従することが可能なロボットシステムの開発」の実現のために、閾値の形状を四角から円とした。また、本手法は2次元用 LRF であるが、3次元の LiDAR への実装も試みた。

追従点の決定では、ロボットから人の中心座標までの距離を計算する。次に人の中心座標までの距離と仮想円の半径を用いて原点から接点までの距離を求める。次に仮想円の接点までの距離と仮想円の半径を用いて人の中心座標から仮想円の接点までの角度を求める。この角度から左右の接点の座標を算出する。この2つの接点のうち追従する接点を決める必要がある。基本的な考え方は、ロボットがプレイヤーの動いている方向と反対側へ移動することである。しかし、追従する接点が頻繁に変更されるとロボットの動きが振動的になるため、ある動作範囲を設定することとした。

人への追従の制御については、基本的に Hiroi らが開発した手法を用いた[Hiroi et al. JMMT 2012]と同様である。ただし、ロボット追従を続けるためにロボットの最低速度を設定した。

人への離脱手法について述べる。人へタッチした後のロボットの動作をどのようにするかについて3種類を考案した。一つ目がタッチ判定後、直進する「直進モード」、二つ目がプレイヤーの進行方向に合わせて平行となるように移動する「平行モード」、三つ目がプレイヤーに動作する「回り込みモード」である。

これらについて実験を行った結果を研究成果に示す。

4. 研究成果

コロナ禍における研究であったため、開発は困難を極めた。2020年は実機の開発が行えないため、シミュレーション環境を構築した。また、鬼ごっこの開始を人からロボットへ伝えるための技術として、腕振りの動作を低演算で算出する手法の開発を行った。また、ロボットが人へ追従する際に waypoint (経路点) を使用することを志向し、距離誤差の少ない経路追従手法の開発も行った。コロナ禍のため、実験は時間を短く、人と人の距離を保つことが必要であったため、遠隔からの操作手法についても開発を行った。また、タッチをする際にもロボットが追いかけてタッチをするのではなく、1自由度アームを設置したリュック型デバイスを背中に背負い、そのアームでタッチすることを実現した。ほぼ対面で活動が可能な状況になり、鬼ごっこロボットの開発を行った。

鬼ごっこを実現するためのタッチ機能を有した生活支援ロボットの開発について述べる。ロボットの大きさは 0.380×0.610 (アームを含むと 0.800) $\times 1.60$ (WDH) [m]、総重量 26 [kg] である。移動部は、対向二輪型移動ロボット P3-DX を使用した。最大速度は 0.75 [m/s]、最大角速度は 100 [deg/s] である。LRF は北陽電機製の UTM-30LX を使用した。1.0 [m] の高さに設置し 270 [deg] の範囲で 30 [m] までの2次元距離を測定することができる。ロボットの上部後方に非常停止 (ESB) を配置している。ロボットアームのタッチ部分は安全性を考慮し、強く叩いてもケガの心配のない発泡ポリエチレン製の玩具の剣を使用した。ロボットアームは Dynamixel MX-28AR で動作させた。3D プリンタを用いて PLA フィラメント製のアーム固定具を作成し、Dynamixel MX-28AR に装着した。1自由度アームであり、水平方向へ展開する。これにより考案した手法と適合した動作が可能となった。

実験について述べる。提案手法の3つ目である「回り込みモード」は、論文化中のため割愛する。実験シミュレーション環境および実機環境において行った。まず、シミュレーション環境における結果について述べる。実験は、ROS の Stage シミュレーション上で行った。人モデル (プレイヤー) が一体と、ロボットモデルを一台用いた。まずは基礎実験として、接点の選択を設計道理に動作するか検証し、問題なく動作することを確認した。次に人モデルを3種類の経路をメトロノームの音に合わせて、移動させた。3種類の経路とは、「直線経路」、直線ののち円弧に入る「円弧経路」、直線ののちジグザグに入る「ジグザグ」である。「平行モード」では3種類の経路すべてでロボットとプレイヤーは衝突することなく、距離を保って離脱動作が行われた。「直進モード」では、例えばジグザグ経路においてプレイヤーと衝突した。さらにロボットの停止領域に入り、ロボットが停止することもあった。

これについて実機を用いて検証した。なお、本実験は、“Touch-and-Away”動作が正常に機能するかを判断するためにまずは、アームなしで行った。実験はシミュレーション環境と3種類の経路上をプレイヤーが目印を参考に、メトロノームの音に従い歩行した。結果として、シミュレーション環境と同様に「平行モード」は、プレイヤーと衝突することなく離脱動作を実現した。

次にアームをロボットに実装し、基礎実験を行った。具体的にはプレイヤーにアームが接触した際のトルクリミットの設定についての実験を行い、プレイヤーをアームでタッチしても安全なことを確認した。アームをロボットに実装し、実験したところ、人と衝突せずにタッチすることを確認した。まとめると、本研究の目的である「高速に移動する人を追従することが可能なロボットシステムの開発」については、閾値形状を円形にすることで解決し、3次元 LiDAR への実装も試みた。人とロボットが共に動いた状態で“タッチする”ことが可能な「子どもと遊ぶ生活支援ロボット」の開発についても実現した。

研究成果における追従に関する技術は、例えば高性能な車いすや道案内ロボットに適用可能

であり、遠隔操縦の技術は、遠隔支援の教育等に応用が可能である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kasai Yoshitaka, Hiroi Yutaka, Miyawaki Kenzaburo, Ito Akinori	4. 巻 11
2. 論文標題 Development of a Mobile Robot That Plays Tag with Touch-and-Away Behavior Using a Laser Range Finder	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 7522 ~ 7522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app11167522	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 -
1. 著者名 Kasai Yoshitaka, Hiroi Yutaka, Miyawaki Kenzaburo, Ito Akinori	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of a Teleoperated Play Tag Robot with Semi-Automatic Play	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)	6. 最初と最後の頁 165 ~ 170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SII52469.2022.9708883	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 Misaki Yuki, Hiroi Yutaka, Ito Akinori	4. 巻 -
2. 論文標題 A Light-weight Hand-waving Gesture Recognition Method Using Kinect V2 and Frequency Analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of the 2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2021)	6. 最初と最後の頁 750-755
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IEEECONF49454.2021.9382709	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 Wakabayashi Hironobu, Hiroi Yutaka, Miyawaki Kenzaburo, Ito Akinori	4. 巻 642
2. 論文標題 Path Following Algorithm with Small Error for Guide Robot	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Networks and Systems	6. 最初と最後の頁 56 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-26889-2_6	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 Hiroi Yutaka, Ito Akinori	4. 巻 13
2. 論文標題 A Robotic System for Remote Teaching of Technical Drawing	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Education Sciences	6. 最初と最後の頁 347 ~ 347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/educsci13040347	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10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 可西慶宇, 廣井富, 宮脇健三郎, 伊藤彰則
2. 発表標題 人へのタッチを志向したロボットの人への接近手法の提案 -鬼ごっこロボットの開発-
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 可西慶宇, 廣井富, 若林広悦, 宮脇健三郎, 伊藤彰則
2. 発表標題 鬼ごっこロボットのための複数人への追跡手法の提案
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 若林広悦, 廣井富, 宮脇健三郎, 伊藤 彰則
2. 発表標題 道案内ロボットののための距離誤差の少ない経路追従手法の提案
3. 学会等名 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SI2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 廣井富 , 朝倉大裕 , 中田海地 , 伊藤彰則
2. 発表標題 人と並んだ状態で人追従可能なロボットシステムに関する基礎的検討
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 御崎雄貴, 廣井富, 伊藤彰則
2. 発表標題 Kinect による低演算量な腕振り動作の検出法とその評価
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門 (SI2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 可西慶宇, 廣井富, 宮脇健三郎, 伊藤 彰則
2. 発表標題 鬼ごっこロボットのための1 自由度アームを用いたタッチ動作の検討
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門 (SI2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 星村駿, 廣井富, 可西慶宇, 宮脇健三郎, 伊藤彰則
2. 発表標題 鬼ごっこロボットのためのリュックサック型タッチデバイスの試作
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH 2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若林広悦, 廣井富, 宮脇健三郎, 伊藤 彰則
2. 発表標題 道案内ロボットののための距離誤差の少ない経路追従手法の開発 実機による検証
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH 2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若林広悦, 廣井富, 宮脇健三郎, 伊藤 彰則
2. 発表標題 距離誤差の少ない経路追従手法を実装した道案内ロボットの運用に向けた取り組み
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北本宙, 廣井富
2. 発表標題 人追従への3DLiDARの点群押しつぶし手法適用に関する考察
3. 学会等名 日本機械学会関西支部関西学生会2022年度学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2023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
---------	---------