

令和元年6月20日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00363

研究課題名(和文) 子供との動的インタラクションが可能なロボットの実現

研究課題名(英文) Realization of a robot that can dynamic interaction with children

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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は子供と動的なインタラクションが可能な生活支援ロボットを実現することである。これが実現すると、ロバストに動作可能なロボットが開発される。具体的には、ルールが簡潔で役割が明確に分かれている「だるまさんが転んだ」をテーマに扱った。まず、人同士の「だるまさんが転んだ」をビデオで撮影し、観測することで課題を抽出した。センサから観測ができない人の腕と胴体の重なりへの対応、さらに複数人の重なりにも対応する手法を開発した。本研究室で開発している生活支援ロボットに「だるまさんが転んだ」のシステムを実装し、ロボカップ@ホームリーグの世界大会に出場し、Best in Navigation賞を受賞した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

核家族化、少子高齢化等の影響により、子供の外遊びの機会が減っている。本研究の目的は、子供と動的なインタラクションが可能な生活支援ロボットを実現することである。これが実現すると、屋外環境下においてもロバストに動作可能なロボットが開発されることと、ロボットによる家事支援や伝統的な遊びの継承が可能になる。本研究は「だるまさんが転んだ」を実現し、様々なイベントで子供相手にデモをした。また多くのメディアにも取り上げられた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to realize a life support robot that can interact with children dynamically. If this is realized, a robust robot can be developed. Specifically, the theme was "Daruma-san fell" whose rules are brief and roles are clearly divided. First, the subjects were extracted by video and observing the "Daruma-san-ga-koron-da" game between people. We developed a method to solve with the overlap of arms and torso of people who can not observe from sensors, and also to solve with the overlap of several people. We implemented a system of "Daruma-san-ga-koron-da" game in the life support robot developed in this laboratory, and participated in the RoboCup @ Home League World Convention and received the Best in Navigation award.

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 ヒューマン・ロボットインタラクション 遊びロボット ロボットアバタ 生活支援 ロボカップ@ホーム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

核家族化、少子高齢化等の影響により、子供の外遊びの機会が減っている。本研究は、「だるまさんが転んだ」遊びをテーマにロボットの動作可能な生活支援ロボットの開発を目指す。申請者は、生活支援ロボットを用いて、いかに人間と共に作業を遂行できるか、その技術を競技形式で評価する「ロボカップ@ホームリーグ」競技会に参加している。競技内容には、人を追従する技術を競うもの、音声対話により指示を理解し、指定された物体を認識し、持ってくるもの等がある。これらを解決できるロボット（以後、ロボット名:ASAHI とする）の開発を行っている。とくに、レーザ距離センサ（以後 LRF と略す）を用いた人追従技術に力を入れてきた。一時的な人の見失いや複数人が存在する環境下においても、追跡対象者を見失うことはない。さらに、人追従しながら、障害物を回避することやエレベータへのロボットとの搭乗も可能にした。例えば、荷物運搬支援ロボットへ適用することでその応用性を広めた。また、申請者は、人の行動理解の一環として、指差しジェスチャをロボットが認識し、その指差しした場所に置かれた物体を回収するロボットシステムを提案している。さらに人の指差しやロボットが指差しした地点をどのように人間が知覚するかについて明らかにした。

ASAHI のような生活支援ロボットにおいては、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。このようなインタラクションは、主として、ロボットが停止しているか、人が停止しているか（停止には、ゆるやかな動きを含む）の状況を対象としており「静的なインタラクション」と定義付けできる。

一方、今後の生活支援ロボットは、従来の「静的なインタラクション」だけでなく、人（走る、突然停止するような動き等）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」を実現する生活支援ロボットの開発が必要となる。このため、本研究はロボットとの「動的なインタラクション」の実現を目指す。具体的には、ロボットの動作可能なロボットの開発を目指すために「だるまさんが転んだ」をテーマに設定した。「だるまさんが転んだ」は、「多人数で遊ぶ」、「競技がシークエンシャル」、「役割が明確に分かれている（鬼とプレイヤー）」、「広く知られている（海外では例えば、Red Light, Green Light）」、「ルールが解りやすい」、「体を動かす」、「静的な動きと動的な動きの両方がある」というような特徴を持つ。これらの特徴により、ロボットの性能評価が明確にしやすくと考え、「だるまさんが転んだ」をテーマに設定した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、子供と動的なインタラクション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、ルールが簡潔で役割が明確に分かれている「だるまさんが転んだ」をテーマに扱い、次の2点について解決を目指す。

- (1) ロボットな人追従技術の確立
- (2) 「アウト」等の状況を判断し、的確に人とインタラクション可能な技術を確立

3. 研究の方法

まず、「だるまさんが転んだ」の一般的ルールを示す。次にロボットとプレイヤーが「だるまさんが転んだ」を行う際のルールを定める。「だるまさんが転んだ」は、日本の伝統的遊びの一つである。イギリスやアメリカでは、子どもが遊ぶ似た遊びとして“Red light, Green light”がある。「だるまさんが転んだ」は、一人の鬼と何人かのプレイヤーで行う。まず、鬼はフィールドの前方に立つ。次に、プレイヤーはフィールドの後方に立つ。鬼は、プレイヤーと同じ方向（プレイヤーが見えない方向）を向き、「だるまさんが転んだ」と発話する。発話している間のみプレイヤーは鬼に近づくことが許される。発話した後、鬼は振り返り、プレイヤーの方を見る。その時、プレイヤーは止まらなければならない。動いた場合は、鬼によってプレイヤーは捕えられる（アウトになる）。アウトにならず、プレイヤーが鬼にタッチできた場合は、プレイヤーの勝ちとなる。タッチできた場合は、すべての捕えられたプレイヤーは解放され、ゲームは最初から再び始まる。逆に、すべてのプレイヤーが捕まった場合、鬼の勝ちとなり、最初に捕まったプレイヤーが次の鬼となる。

- 1 ゲームを始めた際、鬼とその他のプレイヤーは距離を開けて立つ。
- 2 鬼は後ろを向き、「だるまさんが転んだ」と発話する。鬼が「だるまさんが転んだ」と後ろを向いて発話している間にプレイヤーは鬼に近づく。
- 3 鬼が発話終了後、プレイヤーの方を向く。この時、プレイヤーは止まっていなければならない。プレイヤーが動いた場合、鬼はそのプレイヤーに「アウト」と告げる。
- 4 鬼に「アウト」と言われたプレイヤーは捕まったこととなる。もし、すべてのプレイヤーが捕まった場合、鬼の勝ちとなりゲームが終わる。
- 5 もし、プレイヤーが鬼にタッチした場合、捕まっていたプレイヤーは解放される。
- 6 プレイヤーが開放された際、鬼は「止まってください」と発話する。
- 7 プレイヤーが止まった後、最も近いプレイヤーのところへ3歩分移動する。もし、鬼がプレイヤーをタッチした場合、鬼はプレイヤーに「アウト」と告げる。「アウト」になったプレイヤーが鬼となり、ゲームは始めから開始される。

「だるまさんが転んだ」を行うために基本的な枠組みを構築し、評価した。評価する際に安全性と容易さを考慮して、ゲームのルールを少し変更した。通常のルールとの違いを以下に

示す。

- ・ロボットの役割は鬼のみである。よって、ロボットがプレイヤーにタッチした際でも、ロボットはプレイヤーにならない。
- ・ロボット自体にタッチするのではなく、マウスにタッチする。
- ・タッチされた後、ロボットは「止まってください」と発話し、人間の3歩分の距離内にいる最も近い人のところへ移動する。
- ・ロボットは、最も近いプレイヤーの0.5 [m]以内の位置に移動し、プレイヤーにタッチせずに「アウト」と発話する。
- ・ロボットがプレイヤーにタッチした際に、ロボットは始めの位置へ戻り、ゲームを再開する。ロボットがゲームを行うために、以下の7つのタスクを成し遂げる手法を開発する必要がある。

A) プレイヤーの検出, B) プレイヤーの追跡, C) プレイヤーの移動量の算出, D) 最も近いプレイヤーの検出, 追跡, E) 最も近いプレイヤーの位置へ移動, F) 原点への復帰, G) 音声合成

7つのタスクの中で、人検出と追跡は中心的な役割である。これらの解決により、(1) ロバストな人追従技術の確立, (2) 「アウト」等の状況を判断し、的確に人とインタラクション可能な技術の確立をめざす。

基本的な人追従の手法は、Hiroi らが開発した手法を用いた[Hiroi et al. JMMT 2012]。この手法は、一人の人をロバストに追跡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、追跡し続ける。これを元に、ある時間の間の人の中心座標の移動量が閾値を超すとアウトとした。研究の方法として、まず人同士の「だるまさんが転んだ」を観察し、問題を明らかにする。次に、問題点を解決する手法を提案し、実験により有効性を示す。最後に統合システムを実装し、目的を満たしたか、判断する。

4. 研究成果

プレイヤーの姿勢を調査するために、人同士で「だるまさんが転んだ」を行い、実際のプレイヤーの姿勢を調べる実験を行った。「だるまさんが転んだ」をプレイヤーが4人、鬼が一人の計5人の実験参加者が行い、鬼はランダムに交代しながら、6ゲーム行った。なお、十分に広い環境である24 [m] × 12 [m]の屋内で行った。また、3つのビデオカメラを用い、これらの様子を録画した。

録画したビデオカメラから解析した結果、プレイヤーが動いている際に4つの姿勢があることが分かった。一つ目が、30 [deg]に腕を振って通常の歩行を行っている姿勢である。二つ目が、早歩きするときのように肘を90 [deg]に曲げて移動している姿勢である。三つ目が、胴体から大きく腕を離れた姿勢である。四つ目が、手を下ろし、身体を振る動きである。この姿勢の際、手は膝の上に置くことが多い。観察より、人の胴体を誤検出する二つのパターンを発見した。1つ目のパターンは、胴体から腕が大きく離れた姿勢の場合に、右腕と左腕が分かれて検出されることである。腕を人らしき物体として認識した場合、人の腕を胴体とときどき誤検出する。閾値内の物体は、対象者の胴体の候補に選ばれ、順番に検出していく。最後に検出された物体を人の胴体とするアルゴリズムのため、LRFに最後に検出される右腕は胴体として認識される。よって、人の中心点の位置が誤った位置に生成される。もう一つのパターンは、自分の腕が胴体に重なるような姿勢の場合に誤検出が発生する。一つもしくは二つの腕が胴体と前後に重なった際、胴体の境界線の検出を誤ってしまうことが原因である。

一つの目の問題に対し、検出された幅を比較、判定することで、安定した胴体の検出を可能にした(幅判定手法)。二つ目の問題に対し、仮の端点を生成することで、胴体の検出を可能にした(仮端点手法)。具体的には、LRFに対し、人の接近位置や速度を変更しても有効に機能することを確認した。

また、人同士の「だるまさんが転んだ」の観察から、人同士が重なることも見受けられた。そこで、人同士が重なって見失った際には、再検出した人座標の位置と見失った地点との距離を比較し、一番近い位置に再検出エリアを移動した。この手法により、人同士が重なって見失ったとしても、人を再検出可能となった(見失った人の再検出手法)。具体的には、3名のプレイヤーが重なり等を生じる20種類のパターンを用意し、実験を行った。結果としてすべてのパターンにおいて人の再検出が可能であった。

最後に全体システムの評価として、ロボット(鬼)と2名の実験参加者(プレイヤー)で「だるまさんが転んだ」を行った。実験は5セット行った。その結果、「だるまさんが転んだ」と18回(1セット平均3.6回)発話した。2人のプレイヤーが両方アウトになるということはなかった。1,2セット目は、鬼が最も近いプレイヤーの位置に移動し、鬼の勝ちとなった。3,4セット目は、最も近いプレイヤーが、プレイヤーの勝ちの条件である4.095 [m]以上の距離であるLRFの画角外(5 [m]以上)まで移動し、プレイヤーの勝ちとなった。5セット目は、4.095 [m]以上の距離まで移動(LRFの画角内)し、プレイヤーの勝ちとなった。また、ロボットが所望の動作を行うか、確認した。「アウト」と発話する際、ロボットアバタがアウトになったプレイヤーを指差したことを確認した。つまり、「アウト」等の状況を判断し、的確に人とインタラクション可能な技術を確認した。

また、本研究室で開発している生活支援ロボットASAHIに「だるまさんが転んだ」のシステ

ムを実装し、ロボカップ@ホームリーグ OPL の世界大会に出場した。結果として、Best in Navigation 賞を受賞した。

本論文で開発した人検出、追跡手法は「だるまさんが転んだ」のゲームだけでなく、他のアプリケーションにも用いることができる。たとえば、追跡対象者を再検出することができるロバストな人追跡は、高性能な車椅子や目的地に案内する道案内ロボットに適用することが可能である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Yuko Nakamori, Yutaka Hiroi, and Akinori Ito, "Multiple player detection and tracking method using a laser range finder for a robot that plays with human," ROBOMECH Journal, Volume 5, Number 1, 15 pages, 2018. <https://doi.org/10.1186/s40648-018-0122-x>
(査読有り)

〔学会発表〕(計 11 件)

中森裕子, 廣井富, 田中翔吾, 伊藤彰則, "「だるまさんが転んだ」の鬼役ロボットのためのタッチ機能の開発", 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 予稿集, p. 3027, 3D3-03, 2018.

野阪百穂, 廣井富, 伊藤彰則, "操作者の顔を再現するテレプレゼンスロボットの提案", 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 予稿集, p. 3028, 3D3-04, 2018.

宮内雄大, 廣井富, 伊藤彰則, "RGB-D カメラと Laser Range Finder を用いた障害物回避に関する基礎的検討", 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 予稿集, p. 2182, 3A1-04, 2018.

中森裕子, 廣井富, 伊藤彰則, "デモンストレーションを指向したロボットの原点復帰の提案 - 「だるまさんが転んだ」を行うロボットの開発 -", 第 36 回日本ロボット学会学術講演論文集 DVD, 2H2-05, 2018.

廣井富, 小田垣成伸, 伊藤彰則, "OpenPose を用いた人の振り返り検出手法の開発 「だるまさんが転んだ」を行うロボットの開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 講演論文集 DVD-ROM, 1P2-G07, 2018.

廣井富, 宮内雄大, 伊藤彰則, "正面から接近する歩行者に対するロボットの事前回避手法の開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 講演論文集 DVD-ROM, 1P2-G08, 2018.

Yuko Nakamori, Yutaka Hiroi, and Akinori Ito, "Enhancement of Person Detection and Tracking for a Robot that Plays with Human," Proc. of 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 6 pages, 2017.

宮内雄大, 廣井富, 今西天希, 伊藤彰則, "RGB-D カメラを用いた床面上の小物体回避に関する基礎的検討", 第 18 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 SI2017 予稿集, 3E1_12, 2017.

森下康平, 廣井富, 宮内雄大, 伊藤彰則, "OpenPose と LRF を用いた群衆回避手法の試み", 第 18 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 SI2017 予稿集, 3E1_11, 2017.

宮内雄大, 西口敏司, 廣井富, 伊藤彰則, "LRF とビジョンの併用による群衆通り抜け時における人追跡手法の開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 講演論文集 DVD-ROM, 1P2-L06, 2017.

中森裕子, 廣井富, 伊藤彰則, "LRF を用いた「だるまさんが転んだ」における「幅判定手法」の効果", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 講演論文集 DVD-ROM, 1P2-L06, 2017.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件), 取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1)研究分担者
なし

(2)研究協力者
なし