

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 10 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25280093

研究課題名(和文)人のアウェアネスの推定に基づく移動ロボットの付き添い行動の生成

研究課題名(英文)Generating Robot's Attendance Actions by Estimating Person's Awareness to the Environment

研究代表者

三浦 純 (Miura, Jun)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90219585

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：付き添いロボットなど日常生活で人をサポートするロボットへの期待が高まっている。本研究では、付き添いロボットを実現するために必要となる技術として、(1)さまざまな姿勢の人物の発見・追跡し、さらにサービス対象の特定人物を識別する手法、(2)人の環境に対するアウェアネスをその行動からの推定する手法およびそのために必要となる顔向き等の推定手法、および(3)見守りや案内など状況に応じて適切にロボットの行動を生成する手法と、それらを人の意図や行動に応じて切り替える手法を開発した。また、これらの手法を実ロボットに実装し、それらの有効性を検証した。

研究成果の概要(英文)：There is an increasing demand for personal service robots such as attendant robots that support people in their daily life. Aiming at realizing such an attendant robot, we developed the following methods: (1) detecting and tracking people in a variety of poses and discriminating a specific person to whom services are provided; (2) estimating a person's awareness to the environment from his/her actions with estimation of face poses; (3) generating appropriate attendance actions and switching them depending on a person's intention and/or state. We implemented and tested these methods using a real robot to show their effectiveness.

研究分野：知能ロボット

キーワード：付き添いロボット アウェアネス 移動ロボット 人物検出・識別 人物行動推定 ロボットの行動生成 見守りロボット

1. 研究開始当初の背景

日常生活で人をサポートするロボットの研究が盛んに行われている。高齢者や子供の外出の付き添いや、公共空間における案内など付き添いロボットの潜在的な有用性は高い。従来の研究のほとんどは人の動きに追従するだけのものであったが、相手の動きや意図や状況に応じて臨機応変に付き添い方（お供、案内、見守り、寄り添い等）を変える必要がある。そのようなロボットを実現するためには、特定の人を確実に識別したり、人の状態や環境の状態を高信頼で認識したり、また適切な付き添い行動を生成したりすることが必要となる。

2. 研究の目的

本研究では

- (1) 人の識別と状態推定
 - (a) 歩行中の人物を発見・追跡・識別する手法の研究
 - (b) 座位、臥位等にある人の姿勢や頭部位置を推定する手法の研究
- (2) 人の環境に対するウェアネス推定
 - (a) 多様な条件下で顔認識や顔向き推定を行う手法の研究
 - (b) 環境に対する注意を推定する手法の研究
- (3) 適切な行動の生成
 - (a) 見守りや案内など個別の行動を生成する手法の研究
 - (b) 人の状態に応じて行動を切り替える手法の研究

の各項目の研究を行う。各手法は実ロボットに実装して評価を行う。

3. 研究の方法

(1)(a): 距離センサデータから得られた特徴を用いる識別器をオフライン学習によって獲得する。人物の向きは形状情報あるいは画像情報と動き情報の組み合わせによって推定する。人物識別や服の色、身長、歩き方（歩容）等のロボットから得られる特徴を用いる方法と、人が保持したセンサデバイスを利用する方法を研究する。

(1)(b): プライバシーに配慮し距離画像のみを利用する手法を研究する。頭部位置をアノテーションされた多視点距離画像データベース、あるいはCGを利用した多様な姿勢の部位ラベル付き距離画像データベースを用いて推定を行う手法を研究する。

(2)(a): 照明正規化によって多様な照明条件下において確実に顔を認識する手法や安定的に顔向きを推定するための特徴量を研究する。また、評価のための顔画像データベースを構築する。

(2)(b): ロボットが観測可能な人の動きのみから人の環境へのウェアネスを推定す

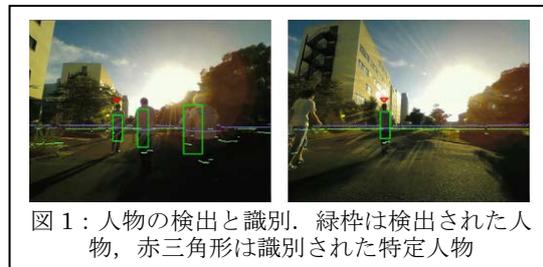
る手法を研究する。多様な環境での付き添い行動を計測するシステムの構築と計測結果からウェアネス推定の確率モデルを推定する。

(3)(a): 人の動きの予測モデルに基づき見守りや案内などの行動を生成する手法を研究する。行動生成には各種最適手法や強化学習手法を適用する。

(3)(b): 人の状態遷移モデルに基づき、ロボットの行動を適切に切り替える手法を研究する。

4. 研究成果

(1) (a): 距離データで人物を検出・追跡し、服の色・身長（画像）および歩容（周期と歩幅、距離データから抽出）の複数特徴を Online Boosting で選択・統合して、隠蔽が生じる状況でも特定人物を検出できる手法を開発した（雑誌論文 3 など）。図 1 に結果の例を示す。



また、特定人物の持つスマートフォンの加速度センサや電波の発振器からの情報を利用した人物識別手法を開発した（雑誌論文 6, 学会発表 3 など）。

(1) (b): 専用の回転台を利用して多視点の距離画像データ（頭部位置情報付き）を生成し、利用することにより臥位にある人物の頭部位置を高速に推定する手法（図 2, 学会発表 7 など）とCGを活用して多様な姿勢の人物に対し、頭・腕などの部位ごとのラベルが付いた距離画像を大量に生成し、深層学習を利用して距離画像のみから姿勢推定（部位推定）を行う手法（図 3, 雑誌論文 1 など）を開発した。

(2) (a): 拡張された光の反射モデルと GA-Fuzzy 手法を用いて照明の影響を適応的に調整する手法を開発した。これにより照明条件に関わらず、常に一定の見えを生成する



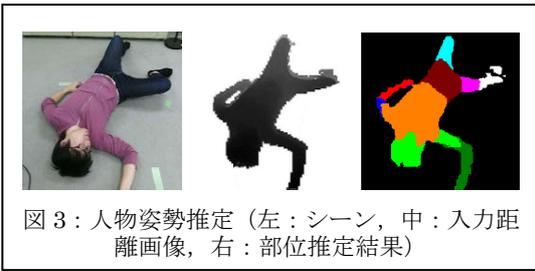


図 3：人物姿勢推定（左：シーン，中：入力距離画像，右：部位推定結果）



図 4：照明正規化の結果：上段は入力画像，下段は変換後の画像

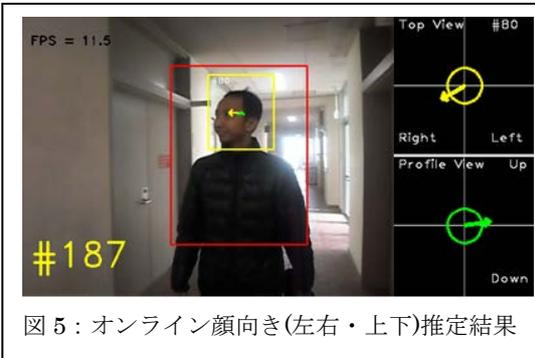


図 5：オンライン顔向き(左右・上下)推定結果

ことができ、顔の発見・認識の精度が向上する（雑誌論文 4 など）。図 4 に本手法を用いた顔画像変換の結果を示す。

また、勾配やテクスチャなど複数の特徴を組み合わせた特徴量を提案し、アウェアネスを推定に有効な顔向き推定の推定精度を向上させる手法を開発した（雑誌論文 5 など）。図 5 にオンライン顔向き推定に適用した結果を示す。

(2) (b)：3次元 LIDAR を利用した付き添い行動計測システムを開発した。地図に基づく位置推定と人物検出を組み合わせ、広範囲の付き添い行動が計測可能である。また、HCRF (Hidden Conditional Random Field) を用いて行動履歴から人の環境に対するアウェアネスを推定する手法を開発した（学会発表 4 など）。図 6 に推定結果の例を示す。

(3) (a)：人の動き予測と環境の構造を考慮して見守りを行うための視点を選択するアルゴリズムを開発した（雑誌論文 2, 学会発表 9, 15 など）。図 7 に見守り行動生成結果の例を示す。空間の構造が複雑で人をすぐに見失う可能性の高い場所ではロボットは人の近くに居るが（図中 (a) (b)），見通しの良い場所では適度な距離を保って付き添っている（図中 (c) (d)）

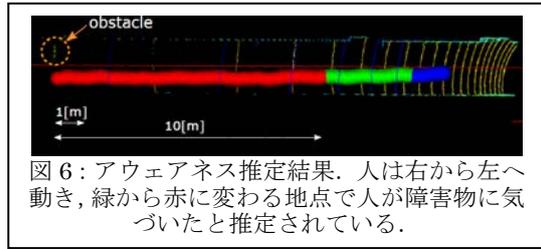


図 6：アウェアネス推定結果。人は右から左へ動き、緑から赤に変わる地点で人が障害物に気づいたと推定されている。

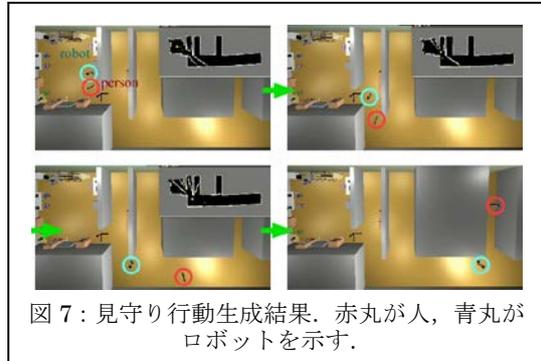


図 7：見守り行動生成結果。赤丸が人，青丸がロボットを示す。

また、強化学習手法によって多数の人物が存在する環境下で、Social Force Model を考慮した Reward を用いることで、適切な案内行動を生成する手法を開発した（学会発表 2 など）。

(3) (b)：人の行動の変化を状態遷移モデルで記述し、行動変化の意図を事前に推定して人の行動にあわせてロボットの付き添い行動を変化させる手法を開発した（学会発表 5 など）。図 8 に着座行動を認識し、また周囲の人や物体の状況を考慮して、適切な待機位置にロボットが移動した結果を示す。



図 8：着座している人の側で待機するロボット。右側の図は付き添い対象人物の周囲環境の認識結果と待機位置の計算結果を示す。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 8 件）

1. K. Nishi and J. Miura, "Generation of Human Depth Images with Body Part Labels for Complex Human Pose Recognition," Pattern Recognition, 2017.

2. I. Ardiyanto and J. Miura, "Generalized Coverage Solver using Hybrid Evolutionary Optimization", *Int. J. of Innovative Computation, Information, and Control*, Vol. 13, No. 3, pp. 921-940, 2017.
 3. K. Koide and J. Miura, "Identification of a Specific Person using Color, Height, and Gait Features for a Person Following Robot," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 84, No. 10, pp. 76-87, 2016.
 4. B.S.B. Dewantara and J. Miura, "OptiFuzz: A Robust Illumination Invariant Face Recognition System and Its Implementation," *Machine Vision and Applications*, Vol. 27, No. 6, pp. 877-891, 2016.
 5. B.S.B. Dewantara and J. Miura, "Estimating Head Orientation using a Combination of Multiple Cues," *IEICE Trans. on Information and Systems*, Vol. E99-D, No. 6, pp. 1603-1613, 2016.
 6. K. Misu and J. Miura, "Specific Person Tracking using 3D LIDAR and ESPAR Antenna for Mobile Service Robots," *Advanced Robotics*, Vol. 29, No. 22, pp. 1483-1495, 2015.
 7. I. Ardiyanto and J. Miura, "Partial Least Squares-based Human Upper Body Orientation Estimation with Combined Detection and Tracking," *Image and Vision Computing*, Vol. 32, No. 11, pp. 904-915, 2014.
 8. J. Satake and M. Chiba, and J. Miura, "Visual Person Identification using a Distance-Dependent Appearance Model for a Person Following Robot," *Int. J. of Automation and Computing*, Vol. 10, No. 5, pp. 438-446, 2013.
- [学会発表] (計 15 件)
1. M. Shimizu, K. Koide, I. Ardiyanto, J. Miura, and S. Oishi, "LIDAR-based Body Orientation Estimation by Integrating Shape and Motion Information," *Proc. 2016 IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics*, pp. 1948-1953, 2016.
 2. B.S.B. Dewantara and J. Miura, "Generation of a Socially Aware Behavior of a Guide Robot using Reinforcement Learning," *Proc. 2016 Int. Electronics Symp.*, 2016.
 3. K. Koide and J. Miura, "Person Identification Based on the Matching of Foot Strike Timings Obtained by LRFSS and Smartphone," *Proc. 2016 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 4187-4192, 2016.
 4. K. Koide and J. Miura, "Estimating Person's Awareness of an Obstacle using HCRF for and Attendant Robot," *Proc. 4th Int. Conf. on Human-Agent Interaction*, pp. 393-397, 2016.
 5. S. Oishi, Y. Kohari, and J. Miura, "Toward a Robotic Attendant Adaptively Behaving according to Human State," *Proc. 2016 IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 1038-1043, 2016.
 6. S. Kani and J. Miura, "Mobile Monitoring of Physical States of Indoor Environments for Personal Support," *Proc. 2015. IEEE/SICE Int. Symp. on System Integration*, pp. 393-398, 2015.
 7. K. Nishi and J. Miura, "A Head Position Estimation Method for a Variety of Recumbent Positions for a Care Robot," *Proc. 2015 Int. Conf. on Advanced Mechatronics*, pp. 157-158, 2015.
 8. B.S.B. Dewantara and J. Miura, "The AISL Head Orientation Database and Preliminary Evaluations," *Proc. 2015 Int. Electronics Symp.*, 2015.
 9. I. Ardiyanto and J. Miura, "Human Motion Prediction Considering Environmental Context," *Proc. 2015 IAPR Int. Conf. on Machine Vision Applications*, pp.390-393, 2015.
 10. I. Ardiyanto J. Satake, and J. Miura, "Autonomous Monitoring Framework with Fallen Person Pose Estimation and Vital Sign Detection," *Proc. 6th Int. Conf. on Information Technology and Electrical Engineering*, 2014.
 11. I. Ardiyanto and J. Miura, "Cameraman Robot: Dynamic Trajectory Tracking with Final Time Constraint using State-time Space Stochastic Approach," *Proc. 2014 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3108-3115, 2014.
 12. K. Misu and J. Miura, "Specific Person Detection and Tracking by a Mobile Robot using 3D LIDAR and ESPAR Antenna," *Proc. 13th Int. Conf. on Intelligent Autonomous Systems*, 2014.
 13. B.S.B. Dewantara and J. Miura, "Fuzzy-based Illumination Normalization for Face Recognition," *Proc. 2013 IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social*

- Impacts, pp. 119-124, 2013.
14. J. Satake and J. Miura, "Experimental Evaluation of Stereo-based Person Tracking in Real Environment," Proc. 13th IAPR Int. Conf. on Machine Vision Applications, pp. 202-205, 2013.
 15. I. Ardiyanto and J. Miura, "Visibility-based Viewpoint Planning for Guard Robot using Skeletonization and Geodesic Motion Model," Proc. 2013 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 652-658, 2013.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 2 件)

名称：特定人物識別装置およびその方法
発明者：三浦純，小出健司
権利者：豊橋技術科学大学
種類：特許
番号：特願 2015-099988
出願年月日：2015 年 5 月 15 日
国内外の別： 国内

名称：臥位頭部位置検知装置およびその方法
発明者：三浦純，西佳一郎
権利者：豊橋技術科学大学
種類：特許
番号：特願 2015-098109
出願年月日：2015 年 5 月 13 日
国内外の別： 国内

〔その他〕

<http://www.aisl.cs.tut.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三浦 純 (MIURA JUN)
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：90219585

(3) 連携研究者

佐竹 純二 (SATAKE JUNJI)
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教 (平成 25 年度)
研究者番号：60392726

(3) 連携研究者

大石 修士 (OISHI SHUJI)
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教 (平成 27～28 年度)
研究者番号：30759618