

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：94301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330314

研究課題名(和文) 遮蔽の定量的評価と場所依存行動モデルによる人物追跡

研究課題名(英文) People tracking based on a quantitative evaluation of occlusion and place dependent motion models

研究代表者

池田 徹志 (IKEDA, Tetsushi)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：50397618

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、人物計測の際に生じる遮蔽に注目した人物追跡手法の研究を進め、提案手法を用いた人物追跡を用いて人がすれ違う際の行動計測の研究に発展させた。遮蔽の定量化については、様々な遮蔽条件において実施した人物追跡実験の結果により、人物が移動する際の遮蔽率と、人物追跡の失敗率には相関があることを確認し、人物追跡で用いる行動モデルに遮蔽の評価を導入した。さらに、提案する人物追跡手法を用いて、歩行者と自律移動の車いすがすれ違う際の行動解析の研究を進めた。遮蔽が生じる環境でも歩行者の位置を精度良く求めることにより、歩行者の位置に応じて快適にすれ違いを行う移動制御が実現した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed a people tracking method based on evaluation of occlusion and applied to analysis of the passing of people and a wheelchair. Based on the analysis of occlusion in several situations, we confirmed the occlusion ratio and the failure rate are correlated and proposed a tracking method that considers the computed occlusion ratio. We used the tracking method to analyze the passing of people and a wheelchair in a narrow corridor. By providing the motion plan of the wheelchair to the passenger and the pedestrian, we confirmed the movement of the pedestrian becomes smoother based on the accurate tracking method.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：人物追跡 知能ロボティクス パーソナルモビリティ

## 1. 研究開始当初の背景

公共の場所での人物追跡は、人物の行動に応じた様々なサービスの実現や、街中での人物の行動の理解につながる。広範囲の人物を計測するために、環境中に設置したセンサを用いた人物追跡の研究が盛んに進められており、様々な応用が期待されている。人物追跡とその応用研究は、国内外の研究機関で精力的に進められている。

人物行動計測および解析の分野の研究動向では、Microsoft 社より 2010 年末に発売された Kinect センサが大きな影響を与えた。これまで高価な計測機器を用いなければ実現できなかった、人物の手足の動きの計測を安価なデバイスで可能にした。Kinect センサを用いた室内環境での人物追跡や行動認識の多数の研究が進み、基本的な人物追跡および行動認識の機能は、Kinect センサを用いることにより容易に実現できるようになった。しかし、室内で行うゲーム用周辺機器として開発されたセンサであり、太陽光の差し込む窓のある環境や、人物までの距離が 10m を超えるような街中での適用には問題が残る。半屋外の駅やショッピングモールのような公共の空間では、カメラやレーザレンジファインダ (LRF) を用いた人物計測手法が有効であり、依然として広く用いられている。

環境中にセンサを設置する際の制約として、現実的には設置場所やコストの制約により、環境中に理想的な数と配置のセンサを設置できない問題がある。特に限られたセンサを用いて混雑した環境下で人物追跡を行う場合には、計測対象の人物とセンサとの間に他の人物などが存在し、遮蔽されて十分に計測できない頻繁に生じる。遮蔽が生じる条件下では、各人物を理想的な条件で計測することは難しい。これは、人数が多く混雑する環境や、センサが十分に設置できない環境では、共通に現れる問題である。

本課題では、遮蔽を定量化して人物追跡を改善する問題に取り組む。本研究の着想に至るまでには、ショッピングモールや店舗の中での計測実験および人物行動解析の研究を進め、環境内の人物が多い場合や、狭い廊下にセンサが少数しか無い場合には有効なデータが得られない問題に直面していた。この問題に対して、遮蔽を減らすことができないまでも、得られるデータから人物追跡の精度を少しでも高めながら、人物追跡の応用研究を進めることが必要だという実感を得ていた。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、遮蔽が生じる条件下で複数の LRF を用いた人物追跡を行い、遮蔽の程度を評価することにより人物行動モデルの改善を試みる。また、人物追跡の応用として、自律移動する電動車いすと歩行者がすれ違う際の人物の行動解析の研究を進める。

具体的には、以下の 2 つの研究課題に取り

組んだ。

研究課題 1. 人物計測の際に生じる遮蔽を定量化することにより、人物追跡の失敗との関連性を求め、人物追跡で用いる行動モデルに反映することを目指す。遮蔽の定量化については、複数のレーザレンジファインダを用いて人物追跡を行う手法に注目し、それぞれの人物の遮蔽の程度を評価することにより、人物追跡時のモデルを修正する方針で取り組む。様々な遮蔽条件において実施した人物追跡実験を行い、人物が移動する際の遮蔽率と、人物追跡の失敗率の関係を調査し、人物追跡で用いる行動モデルに遮蔽の評価の導入を試みる。

研究課題 2. 遮蔽が生じる場合でも有効な人物追跡手法を、歩行者と自律移動の車いすがすれ違う際の行動解析の研究に応用する。自律移動の電動車いすが日常生活環境で用いられる場合には、今後の挙動が不明なため、搭乗者や周囲の歩行者が不安に感じる問題点がある。この問題に対し、車いすがこれからの挙動について情報呈示を行う実験を行い、歩行者の移動軌跡の解析によって情報呈示の効果を検証する。

## 3. 研究の方法

本研究課題では、広域や屋外でも人物追跡に利用が可能な LRF を用いて、遮蔽が起こる際の人物追跡のデータを蓄積する。実験時には、十分な数のセンサを用いた計測を行い、後の解析では一部のみのセンサの計測結果を用いることにより、様々な遮蔽の条件での解析を行う。特に、特定の歩行者を計測しているセンサの数と、人物追跡の失敗率との関係を調査する。

また、自律移動する電動車いすに関しては、歩行者の動きに反応して適切に道を譲ったり、プロジェクタを用いて自分のこれからの行動を呈示したりすることにより、歩行者や電動車いすの搭乗者が安心に感じるかを評価する。歩行者の移動軌跡を解析し、歩きやすさが移動軌跡に現れるかを検証する。

## 4. 研究成果

はじめに、さまざまな遮蔽の起こる条件下で、提案する遮蔽の定量化手法の評価を行った。環境中に複数の LRF を設置して人物追跡を行う場合に、遮蔽の状況によってその人物を計測可能なセンサの数が増える。計測しているセンサの数と、位置計測誤差の関係を求め、観測の不確実性を評価した。

次に、改善された人物追跡手法を用いて、歩行者と自律移動の車いすがすれ違う際の行動解析の研究に応用した。遮蔽が生じる環境でも歩行者の位置を精度良く求めることにより、歩行者の移動軌跡を解析し、歩行者の快適さを移動軌跡に基づいて評価した。

以下に、これらの研究のうち主要な結果を報告する。

#### 4.1 遮蔽による観測の信頼度の評価

コンビニエンスストア内の人物を複数の LRF で計測したデータを解析した。LRF は約 80cm の高さに設置し、人の腰の高さで計測を行った。理想的な計測条件下では、複数の LRF による計測を統合することにより、人物は胴体の部分が円に類似した形状で計測される。人物追跡の手法としては、それぞれの人物の中心位置をパーティクルフィルタで推定する手法を用いた。

コンビニエンスストア内の棚の間隔は狭く、複数の人物が接近すると高い頻度で遮蔽が起こる。図 1 にコンビニエンスストア内の様子を示し、図 2 に店内の LRF の配置を示す



図 1 レーザレンジファインダ(LRF)を用いた計測実験を行ったコンビニエンスストア内の様子

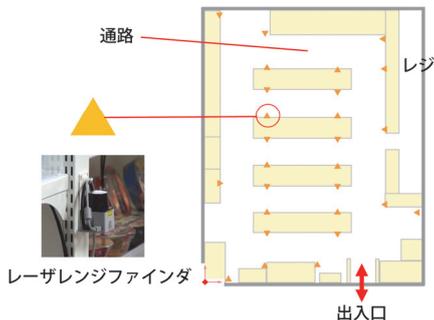


図 2 店舗内の通路およびレーザレンジファインダ(LRF)の設置場所

廊下の幅は狭く、人が 2 人すれ違う際には互いに避ける必要がある。特にレジの近くは多くの人物が集まることが多く、遮蔽の影響が生じやすい環境である。

はじめに、計測に用いた全ての LRF の計測データを用いて、オフラインで人物追跡を行い、移動軌跡を推定した。全ての LRF の計測データを用いた場合は、遮蔽の影響を最小限に抑え、ほぼ正確な移動軌跡を求めることができた。次に、人物追跡に用いる LRF の数を減らし、再びオフラインで移動軌跡の推定を行った。人物を計測する LRF の数が減ったため、周囲に人がいない場合にはほぼ正確な移動軌跡が得られているが、他の人とすれ違ったり接近したりすると、人物を計測する LRF の数が減少し、遮蔽の影響が次第に現れる。その結果、推定された位置が真の位置とは大きく異なる場合が生じた。

ここで計測される人物の遮蔽の深刻さを

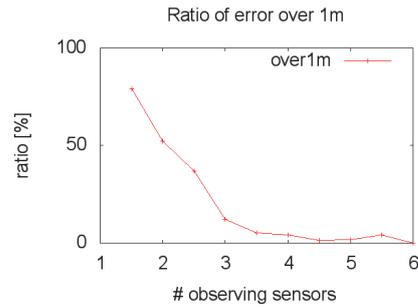


図 3 人物を計測する LRF の平均個数と、計測誤差が 1m を超える割合の関係

表すため、平均計測センサ数を定義する。平均計測センサ数は、人物を計測しているセンサの数を方向毎に求めた量の平均値とする。すなわち、平均的に何個のセンサがその人物を計測できているかを表し、大きいほど安定した計測がなされていると考えられる。平均計測センサ数を横軸に取り、推定された人物位置の誤差が 1m 以上となる割合を縦軸に取ったグラフを図 3 に示す。ここで人物位置の真値は、全てのセンサを用いた際の推定位置とした。人物を計測するセンサの数が増えると、誤差が 1m を超える割合は 0 に近づくことを示す一方で、センサの数が 3 以下に減るにつれて、大きな誤差が頻出していることが分かる。ここで平均計測センサ数が 1 以下の場合には、人物を計測するセンサの数が少なくなるにつれて人物追跡が不安定になり、人物を見失い計測結果が得られなかった。そのため、センサの数が 1 以下の場合には真の位置との誤差が得られず、データが急激に少なくなった。従ってグラフには 1 より大きい場合のみの結果を示した。

この結果より、人物を計測するセンサの数の減少と観測の精度の悪化は相関していることが分かる。人物追跡の結果が得られたとしても、計測するセンサの数が少ない場合には、十分な位置の精度が得られない。そのような場合には、計測結果よりも、過去の移動軌跡に基づく予測結果を信じる方が有望であると考えられる。この知見を人物追跡システムに組み入れることにより、観測の信頼性を考慮した人物追跡を実現できる。

#### 4.2 歩行者の移動軌跡の解析に基づく快適さの評価

人物追跡の手法を歩行者と自律移動の車いすがすれ違う際の行動解析の研究に応用した。自律移動する電動車いすが日常生活環境で用いられる場合には、今後の挙動が不明な様子を搭乗者や周囲の歩行者が不安に感じることが問題になる。この問題に対し、車いすがこれからの挙動について情報呈示を行う実験を行い、歩行者の移動軌跡を解析することによりその効果を検証することを目指した。



図4 狭い廊下で自律移動車椅子とすれ違う歩行者（情報呈示無し）。



図5 車いすはプロジェクタを用いて事前にこれからの移動軌跡を呈示する。歩行者だけでなく、搭乗者にも分かりやすい。

情報呈示によって、自律移動するロボットや車両が周囲に不安を与えないようにする研究は多数行われている。本研究課題では、搭乗者のみならず、周辺の歩行者にとっても安心な自律移動車いすなどの自律型パーソナルモビリティの実現を目的とし、図4、5に動作の例を示すように、プロジェクタを用いて自律移動車いすの意図する動作を搭乗者に伝え、同時に車いすと搭乗者の意図する動作を周辺の歩行者に伝えるシステムを構築した。これにより従来は個別に検討されてきた、搭乗者の安心、周辺の歩行者の安心を同時に実現することを目指した。構築した車いすのシステムを用いた被験者実験に基づく動作意図呈示方法の評価結果を示す。

提案したプロジェクションにより動作意図を搭乗者および歩行者と共有する自律移動車いすの効果を確認するため、評価実験を行った。評価実験では、(1)情報呈示なし、(2)プロジェクションによる床面への経路の呈示、(3)搭乗者の手元ディスプレイによる経路の呈示の3条件について、搭乗者およびすれ違う歩行者それぞれの主観評価アンケートを実施し、歩行者の移動軌跡を計測した。実験環境の構成および、車いすの走行する経路の例を図6に示す。23歳から47歳、平均年齢36.5歳の、日本人女性10名、男性6名の被験者で8組のペアを作成し、車いす搭乗者と歩行者に別れて、すれ違う動作を行った。

自律移動車いすは、はじめは通路の中心を走行する。正面から近づく歩行者との距離が10m以内になると、図9下部に示すように、3m先から2mかけて、通路の歩行者の逆側に0.3mシフトする経路を生成し、これに追従して走行する。経路の端点に到達すると、その場で旋回して同様に復路を走行する。1

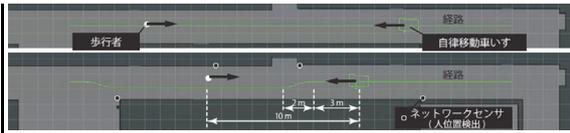


図6 実験環境および車いすの走行経路例

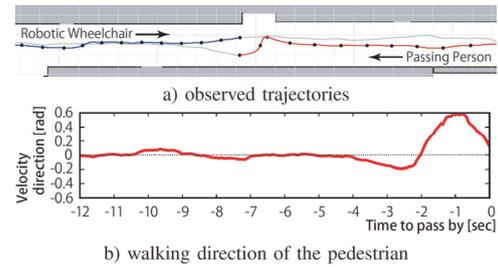


図7 情報呈示無しの条件でのすれ違いの様子。a) 移動軌跡。b) 歩行者の移動方向

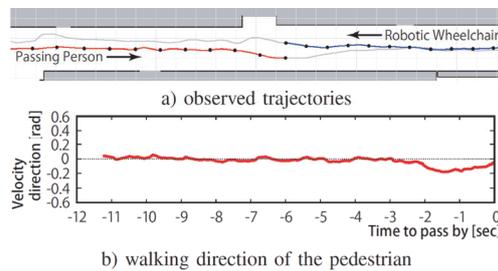


図8 プロジェクションによる情報呈示条件でのすれ違いの様子。

往復毎に、一旦停止のうえアンケートを実施し、全呈示方法について走行した後、搭乗者と歩行者を交代して同様の実験を行った。

アンケートは下記の項目について、5段階のリッカート尺度を用いた。

#### 車いす搭乗者

- 1 安心感
- 2 車いすのよける方向の分かりやすさ
- 3 相手が安心しているように感じたか
- 4 相手のよける方向の分かりやすさ

#### 歩行者

- 1 安心感
- 2 車いすのよける方向の分かりやすさ
- 3 相手が安心しているように感じたか

情報呈示無しの条件で、車いすとすれ違った歩行者の移動の例を図7に示す。図7(a)は右から現れた歩行者を赤線で示し、左から現れた車いすを青線で示した。軌跡上の点は一定時間毎に描いた。情報呈示無しの条件では、歩行者の移動軌跡は大きく方向転換し、移動方向もすれ違いの直前で大きく変化していることが分かる。このことは、図7(b)に示す移動方向の大きな変化によっても確認できる。一方で、図8はプロジェクションによる情報呈示の条件で車いすとすれ違った歩行者の移動の例を示す(図8では歩行者は左から現れている)。プロジェクションによる情報呈示を行うことにより、移動軌跡は

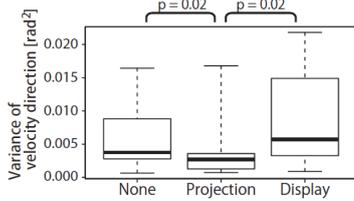
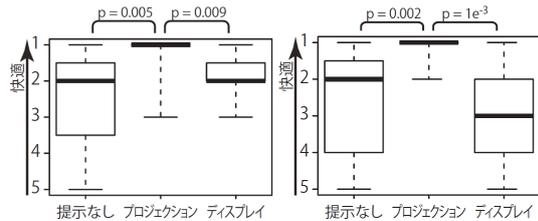


図9 各条件における移動方向の分散の分布。プロジェクションによる情報提供により、有意に分散が低下した。



(a) 搭乗者 (b) 歩行者

図10 すれ違いの安心感に関するアンケート結果。

滑らかになり、移動方向の変化も小さくなっていることが分かる。

歩行者の移動方向の変化の大きさを、移動方向の分散によって評価した。各すれ違いの試行に対して移動方向の分散を求め、移動方向の平均分散の条件間の差を Wilcoxon の符号順位検定によって検定した結果、プロジェクションによる情報提示によって有意に低下することが示された ( $p < 0.05$ ) (図9)

また、搭乗者のアンケート結果に対しても、各条件による差を、Steel-Dwass のノンパラメトリック多重検定法で検定した。安心感に関する質問の検定結果を図10に示す。主観的な安心感についても、プロジェクションによる情報提示によって有意に低下することが示された ( $p < 0.01$ )。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件、解説記事1件を含む)

① 池田 徹志, 石黒 浩, ディラン グラス, 塩見 昌裕, 宮下 敬宏, 萩田 紀博, “信号の動きの相関性に注目した知覚の結び付け手法,” *電子情報通信学会論文誌 D*, Vol. J97-D, No. 3, pp. 687-699, 2014.

② Tetsushi Ikeda, Hiroshi Ishiguro, Takahiro Miyashita, and Norihiro Hagita, “Pedestrian Identification by Associating Wearable and Environmental Sensors based on Phase Dependent Correlation of Human Walking,” *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, Vol. 5, No. 5, pp. 645-654, 2014.

③ 池田 徹志, 石黒 浩, ディラン グラス, 塩見 昌裕, 宮下 敬宏, 萩田 紀博, “信号の動きの相関性に注目した知覚の結び付け手法,” *画像ラボ*, Vol. 26, No. 4, pp. 22-28, 2015. (解説記事)

[学会発表] (計1件)

① 渡辺 敦志, 池田 徹志, Luis Yoichi Morales, 篠沢 一彦, 宮下 敬宏, 萩田 紀博, “動作意図を搭乗者および歩行者と共有する自律パーソナルモビリティ,” 日本ロボット学会学術講演会, 2A1-04, 2015.

② Atsushi Watanabe, Tetsushi Ikeda, Yoichi Morales, Kazuhiko Shinozawa, Takahiro Miyashita, and Norihiro Hagita, “Communicating Robotic Wheelchair Navigational Intentionality,” *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 5763 - 5769, 2015.

[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

<http://www.irc.atr.jp/~ikeda/index-jp.html>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田 徹志 (IKEDA, Tetsushi)  
株式会社国際電気通信基礎技術研究所・  
知能ロボティクス研究所・研究員  
研究者番号: 50397618

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし