

履物上加速度センサと床上レーザレンジファインダを用いた複数人物の追跡

Tracking Persons using Laser Range Finder and Accelerometer Attached to the footwear

正 辻 徳生 (九大) 日下 和也 (九大) 正 長谷川 勉 (熊本高専)
正 倉爪 亮 (九大) 諸岡 健一 (九大)

Tokuo TSUJI, Kyushu University, tsuji@ait.kyushu-u.ac.jp
Kazuya KUSAKA, Kyushu University
Tutomu HASEGAWA, Kumamoto National College of Technology
Ryo KURAZUME, Kyushu University
Ken'ichi MOROOKA, Kyushu University

This paper describes a method for tracking identified persons in a room using the accelerometer attached to each footwear and the laser range finder (LRF) placed on the floor. Even though the LRF measures positions of foot on the floor, it is difficult to identify each person since the floor sensor acquires only the outline of foot. In order to identify the foot, the accelerometer is attached to the footwear. When the feet contacts the floor, it starts to be measured as a blob by the LRF and the acceleration becomes constant. The system detects the timing of such state changes and finds the correspondence between blobs and accelerometers.

Key Words: Person tracking, Accelerometer, Laser range finder

1 諸言

超高齢社会となった日本をはじめ、現在多くの先進国では高齢者の介護や生活支援に関する諸問題が生じている。これらの問題を解決する手段として、サービスロボットによる生活支援や、室内に分散配置されたセンサ群による見守りシステムの実現が期待されている。例えば、介護施設や病院などで定期的に行われる配膳や掃除、物品取り寄せなどの作業をロボットが行うようになれば、介護者の負担を軽減できる。また、居住者の行動を観測し、異常行動や生活習慣の変化を検出することができれば、体調の変化を読み取り、迅速な介護サービスを行うことができる。介護施設や病院の個室では、居住者のほかに介護者や訪問者などが入室する。そのため、ロボットによる生活支援や見守りシステムの実現には、環境内に存在する複数特定人物の位置や行動を常に把握することが不可欠である。

人物の追跡に関するこれまでの研究は、(1) カメラを用いて環境側から観測する方法と、(2) 移動体自身に識別可能な情報発信機能をもたせ、その信号を受信して追跡する方法に大別できる。前者は照明条件や隠蔽などの問題があるが、対象には制限が少ない。後者は、RFID タグなどの信号発信機や、加速度センサなどの運動計測センサを対象に添付する必要があるが、照明条件に影響されないという特徴がある。しかし、後者のセンサのみではその位置を精度よく検出することは困難である。

介護施設や病院の個室を対象とする場合、センサの設置、保守を考慮し、使用するセンサの数は最小限にとどめたい。また、私的な空間であることから、プライバシーを最大限保護するため全身を撮像するセンサの導入は避けたい。さらに、日常生活環境であるため、照明条件に性能が左右されるセンサは望ましくない。そこで、我々の研究グループは、床上に設置した LRF と狭幅長尺の鏡により構成されるフロアセンシングシステム [14] を構築している。フロアセンシングシステムを用いることにより、接地している足の位置を抽出し、その情報を用いることで一人の位置

や歩行軌跡を計測することが可能となった [16]。しかし、複数の人が接近すると足の対応付けが困難となるため、複数人物の追跡を実現していない。さらに、根本的な問題として、その足が誰のものであるか特定することができない。

本稿では、甲の部分に加速度センサを装着した履物 (スマートスリッパ) から得られる足の加速度波形と、フロアセンシングシステムから得られる人の位置を組み合わせ、複数の特定人物を同時に追跡する手法を提案する。歩行時は、少なくとも片方の足は常に接地しており、その間、加速度変化はほぼ 0 である。そのため、スマートスリッパを履くことで、加速度波形をもとに足が接地した時刻と床から離れた時刻を計測できる。また、フロアセンシングシステムで計測できる足も接地している足のみである。フロアセンシングシステムが足を検出した時刻とスマートスリッパの加速度変化がほぼ 0 になる時刻と、足が消失した時刻と加速度が変化し始める時刻、これら 2 つの関係から人物を特定する。

2 従来手法

複数人物の追跡にカメラを用いる例は多い。例えば、肌色情報を用いて画像中の人物領域を抽出する手法が提案されている [2]。カメラに他のセンサ情報を組み合わせる手法も提案されている。床面敷き詰め型圧力センサを組み合わせる手法 [3] や、人が身に付けた加速度センサを利用する手法 [4] などである。これらカメラを用いる手法は、その性能が照明条件に大きく左右され、隠蔽領域も生じる。また、人物の表情や服装まで撮像してしまうため、プライバシーを保護できない。

照明条件に影響されず、プライバシーも最大限保護できる手法として、レーザレンジファインダ (LRF) を用いる研究がなされている。例えば、得られる足首付近のレンジデータがリズミカルに変化するパターンを認識して人物を追跡する手法 [5] が提案されている。駅構内等の広範囲、高密度の群集に対しての追跡を可能としているが、個人を識別することはできないため、特定人物の追跡は困難である。



Fig.1 Experimental environment



(a) LRF (b) Mirror

Fig.2 LRF and mirror

複数人物の識別を目的とし、RFIDを用いる手法が提案されている。例えば、床面敷き詰め型圧力センサを用いて人物が存在する領域を計測し、スリッパに貼付されたパッシブRFIDタグを読み取り、それにより個人を識別する手法[8]である。日常生活における複数人物の追跡を可能としている。床面敷き詰め型圧力センサによる人物位置計測を前提としているが、設置、保守が容易ではない。アクティブRFIDタグから得られる受信信号強度(RSSI)をもとにタグとリーダとの距離を求める方法も考えられるが、アクティブRFIDタグから送信された電波は直接アンテナで受信されるだけでなく、壁や天井、家具等に反射したのちアンテナに到達する機会が多い。その結果、アンテナは異なる複数の経路を通った電波を受信することになり、RSSIと距離との関係は完全な一対一対応ではない。そのため、RSSIのみからリーダと物品との距離を一意に推定することは困難である。

環境固定センサを利用せず、ロボット搭載センサを用いて人物の追跡を行う手法も提案されている。例えば、移動ロボットにカメラとパッシブRFIDタグリーダを搭載し、それらを用いてタグを身に付けた人物を追跡可能とする手法[10]である。混雑した環境下でも人物追跡を可能としているが、日常生活における人物追跡において、ロボットが対象人物を常に追跡し続けるのは現実的ではない。

環境固定センサや移動ロボットを用いず、対象人物が携帯したセンサ情報のみで追跡を行う手法[12][13]も提案されている。加速度センサと角速度センサが1つになったセンサを用い、デッドレコニングで位置計測を行う。追跡時間の経過とともに誤差が蓄積し、また、追跡開始地点の座標が既知である必要があるため、日常生活を対象とした人物追跡には適用困難である。

3 フロアセンシングシステム

実験環境を図1に示す。フロアセンシングシステムは、図2(a)に示す単一のLRF(北陽電機製UTM-30LX)と図2(b)に示す長尺狭幅の鏡で構成される。フロアセンシングシステムの計測対象は、室内での居住者の行動と環境変化であり、歩行軌跡、テーブルや椅子などの家具配置、物品搬送用ワゴンやロボットの位置、および床上に置かれた日用物品である。そのため、図2(a)、図1に示すように、LRFをレーザ走査面が床面と平行かつ床面直上の壁面に設置する。LRFの特性上、放射されたレーザ光はLRFからの距離と走査角度により広がる。この広がりはLRFの正面では小さいが、側面になるほど大きくなる。この結果、床面にレーザ光が反射し、正しい距離値が得られなくなることが考えられる。このようなレーザ光の広がり特性を考慮して、レーザ中心軸の高さが床上27[mm]になるようにLRFを設置する。また、

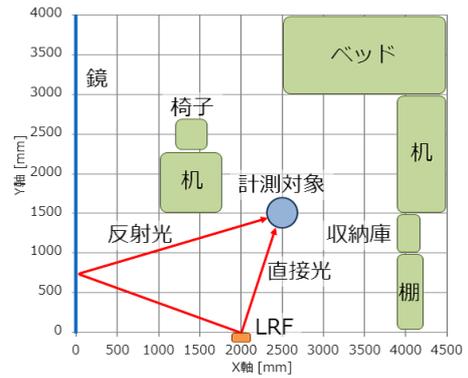


Fig.3 Position measurement by direct laser beam and reflected laser beam (Top view)



Fig.4 Smart Scuff

図3に示すように、側壁面の床上に長尺狭幅の鏡を設置し、それによりLRFからの直接光のほか、鏡で反射したレーザ光も床面直上を走査する。フロアセンシングシステムの計測領域は、直接光と反射光の両者が走査する領域となる。床上に物体が存在しないときは部屋の壁までの距離を取得できる。一方、物体が存在するときはその物体までの距離が得られるため、その距離変化を利用して背景差分処理を行い物体の位置や表面形状を検出できる。しかし、計測できるのはレーザ光による切断面のうち一部の輪郭のみである。また、居住者が家具に接近した際など、狭い領域に多くのクラスタが出現し、その識別が困難になることも多い。これらの問題を解決するため、距離情報に加えてレーザ光の反射強度を利用した識別も行う。反射強度により識別可能な物体を除去することで、人の足など、残りの物体の識別が容易になる。フロアセンシングシステムは、使用するセンサが単一のLRFのみであるため以下の利点がある。

- 小型で、設置および保守が容易である。
- 物体の位置を直接計測でき、室内照明条件の影響を受けないため昼夜を問わず使用できる。
- 計測範囲が広く、分解能が高い。

また、計測面が床面直上にあるため、

- 計測領域が家具などで遮蔽されにくく、床上の小型物品も検出できる。
- タオルや衣類などの軽量物品も検出できる。
- 壁面に設置した鏡を利用し、それにより死角が少なく、ペットボトルなどの距離計測に十分な強度のレーザ反射光が得られない物体も検出できる。
- 居住者の全身を撮影せず、表情や服装などを侵さないことでプライバシーを最大限保護できる。

といった利点もある。

4 スマートスリッパ

スマートスリッパは、加速度センサ(ZMP製IMU-Z2)を装着して人の歩行特徴の計測を可能としたスリッパである。スマー

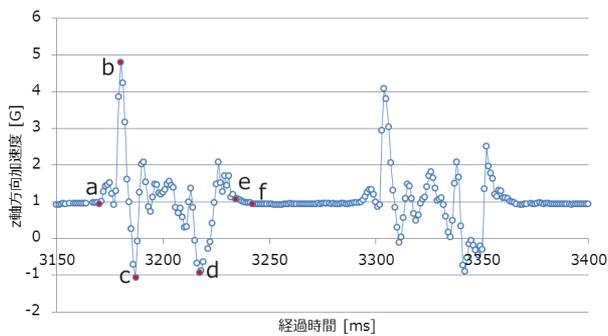


Fig.5 Acceleration waveform

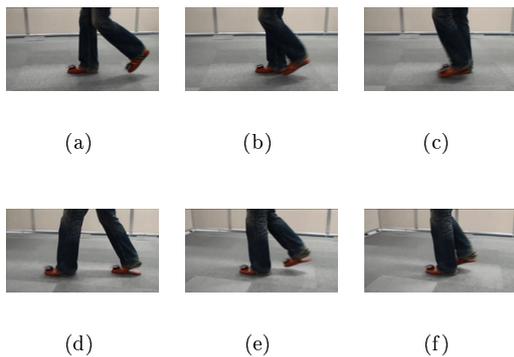


Fig.6 Feet postures corresponding to acceleration waveform

トスリッパの外観を図4に示す。スマートスリッパを履くことにより、足が接地している時間や前に踏み出した時刻を計測できる。

スマートスリッパを履いて歩行した際に得られた左足の加速度波形を図5、図5のうち特徴的な6点の値に対応する足の位置を図6に示す。足が地面から離れる際、正方向への大きな加速度変化が見られる。足が地面から離れている間、加速度波形は振動している。足が接地した際に負方向に大きな加速度変化が見られ、その後、足が接地している間は加速度変化は見られない。この結果から、フロアセンシングシステムで足が検出された直後と足が消失した直前に、その足が履いているスマートスリッパでは大きな加速度変化が見られ、その間は加速度変化がないといえる。

5 人物追跡手法

4章で述べたように、歩行時は、少なくとも片方の足は常に接地しており、その間、加速度変化はほぼ0である。そのため、スマートスリッパを履くことで、加速度波形をもとに足が接地した時刻と床から離れた時刻を計測できる。また、フロアセンシングシステムで計測できる足も接地している足のみである。フロアセンシングシステムが足を検出した時刻とスマートスリッパの加速度変化がほぼ0になる時刻と、足が消失した時刻と加速度が変化し始める時刻、これら2つの関係から人物を特定する。

5.1 歩行に関する統計情報

足の検出、消失時刻差について統計を取る。実験環境内で、被験者におよそ1分間歩き続けてもらい、スマートスリッパとフロアセンシングシステムとの間で、足が検出された時刻、および消失した時刻の差を測定した。12名の被験者から、両足で合計1186歩のデータを得た。足検出時の度数分布表を図7、足消失時の度数分布表を図8に示す。

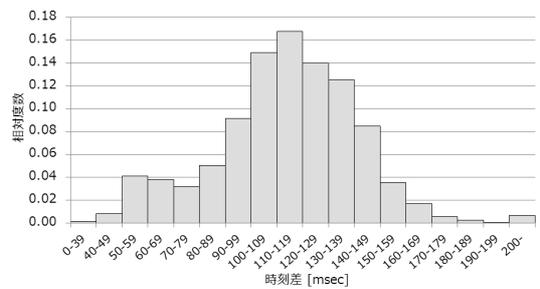


Fig.7 The time difference of feet appearing for LRF and stop of acceleration change.

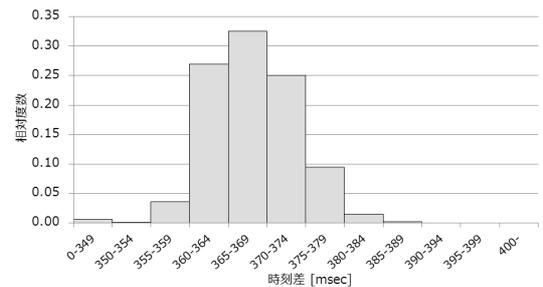


Fig.8 The time difference of disappearing feet for LRF and start of acceleration change.

5.2 足検出時の相関計算

スマートスリッパとフロアセンシングシステムとの間で、足が検出された時刻の差を測定する。この時刻差をもとに、ベイズの定理より(1)式を用いて、検出された足位置が*i*番目のスマートスリッパのものである確率を計算する。

$$P(x_i|D) = \frac{P(D|x_i)P(x_i)}{P(D|x_i)P(x_i) + P(D|\bar{x}_i)P(\bar{x}_i)} \quad (1)$$

ただし、*D*はスマートスリッパとフロアセンシングシステムとの足検出時刻の差が*d*という事象、*x_i*は対象としているスリッパが*i*番目のスマートスリッパであるという事象、*x̄_i*は対象としているスリッパが*i*番目のスリッパではないという事象、*P(x_i|D)*はフロアセンシングシステムで計測した足が*i*番目のスマートスリッパを履いた足である確率、*P(x̄_i|D)*はフロアセンシングシステムで計測した足が*i*番目のスマートスリッパを履いた足ではない確率、*P(D|x_i)*は*i*番目のスマートスリッパで*D*が観測される確率であり、図7より*d*に対応する相対度数、*P(D|x̄_i)*は*i*番目ではないスマートスリッパで*D*が観測される確率であり、その確率は一様分布しているものと仮定した定数、*P(x_i)*、*P(x̄_i)*は事前確率であり、理由不十分の原則から0.5である。

5.3 足消失時の相関計算

スマートスリッパとフロアセンシングシステムとの間で、足が消失した時刻の差を測定する。この時刻差をもとに、足検出時と同様に(1)式を用いて検出された足位置が*i*番目のスマートスリッパのものである確率を計算する。ただし、*P(x_i)*、*P(x̄_i)*には足検出時に計算された事後確率 *P(x_i|D)*、*P(x̄_i|D)* を用いる。

5.4 スマートスリッパと足の対応付け

足消失時の相関計算で得られた結果をすべてのスマートスリッパで比較し、最大値を持つスマートスリッパと足を対応付ける。

6 複数特定人物の追跡実験

提案手法を用い、複数人物を追跡できるか実験を行った。まず、図9に示すように、それぞれ異なるIDを割り当てたスマートス

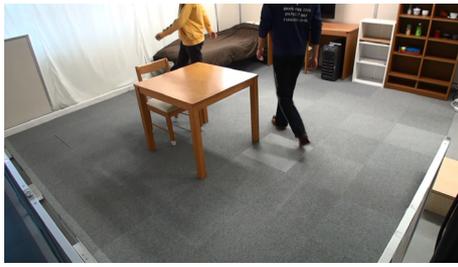


Fig.9 Experiment of tracking

Table 1 識別率

人	識別率 [%]
人 1	70.0
人 2	69.2
平均	69.6

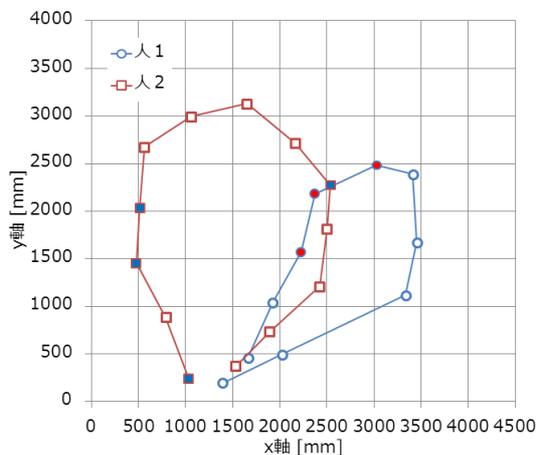


Fig.10 Result of tracking

リッパを履いた 2 人が、人 1、人 2 の順で環境内に入室する。次に、図 10 に示す軌跡を通り退室する。同時に、フロアセンシングシステムで計測される人の足位置と、スマートスリッパで得られる足の加速度波形を記録する。人の足位置が計測されるたびに、加速度波形から計測した足の接地時間と、フロアセンシングシステムで計測した足の接地時間の相関を取り、より相関が強い方の ID と足位置を結び付ける。追跡結果を図 10 に示す。白塗りでプロットした点が正しく追跡できた位置、赤または青塗りでプロットした点が追跡に失敗した位置を表す。識別率を表 1 に示す。平均で 69.6[%] の識別率が得られ、提案手法を用いることで複数人物を同時に追跡可能であるといえる。

7 結言

床面直上に設置した LRF から得られる距離値をもとに居住者の足位置を計測し、加速度センサを装着したスリッパから得られる加速度波形を組み合わせることで複数特定人物を追跡する手法を提案した。提案手法に用いる環境固定センサは、設置や保守が容易である、ビジョンセンサを使用しないため照明条件に影響されない、携帯センサは小型軽量であり、居住者にとっては従来とほとんど変わらない生活を送ることができるといった利点がある。また、全身撮像や一挙手一投足の計測は行わず、歩行軌跡や家具等への接近の計測にとどめており、プライバシーを最大限保護できる。

実験により、平均で 69.6[%] の識別率で正しく複数特定人物を追跡できた。

現在は 1 歩ごとに識別を行っているが、今後は前後の足の位置とその識別結果を統合して精度の向上を図る。さらに、スマートスリッパを用いて、歩行時の加速度波形の学習による歩容認証や行動推定を実現する。

References

- [1] 村上剛司, 長谷川勉, 木室義彦, 千田陽介, 家永貴史, 有田大作, 倉爪亮, “情報構造化環境における情報管理の一手法”, 日本ロボット学会誌, Vol.26, No.2, pp.192-199, 2008.
- [2] 松村朱里, 岩井儀雄, 谷内田正彦, “肌色情報を用いた複数人物追跡”, 情報処理学会研究報告 CVIM コンピュータビジョンとイメージメディア, pp.133-138, 2002.
- [3] Taketoshi Mori, Takashi Matsumoto, Masamichi Shimosaka, Hiroshi Noguchi, Tomomasa Sato, “Multiple persons tracking with data fusion of multiple cameras and Floor sensors using particle Filters”, Workshop on Multi-camera and Multi-modal Sensor Fusion Algorithms and Applications (M2SFA2), 2008.
- [4] Tetsushi Ikeda, Hiroshi Ishiguro, Takuichi Nishimura, “People Tracking by Cross Modal Association of Vision Sensors and Acceleration Sensors”, Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2007.
- [5] 中村克行, 趙卉菁, 柴崎亮介, 坂本圭司, 大鋸朋生, 鈴川尚毅, “複数のレーザレンジスキャナを用いた歩行者トラッキングとその信頼性評価”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J88-D-II, No.7, pp.1143-1152, 2005.
- [6] 庄司正成, “マイクロホンアレーによる足音位置推定の検討”, 電子情報通信学会技術研究報告 EA 応用音響 109(286), pp.61-66, 2009.
- [7] 野村祐基, 磯村太郎, 板井陽俊, 安川博, “DP マッチングによる歩行足音の個人識別に関する研究”, 電子情報通信学会技術研究報告 SIP 信号処理 107(235), pp.73-77, 2007.
- [8] Taketoshi Mori, Yoshiko Suemasu, Hiroshi Noguchi, Tomomasa Sato, “Multiple people tracking by integrating distributed floor pressure sensors and RFID system”, International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.5271-5278, 2004.
- [9] Hiroshi Noguchi, Taketoshi Mori, Tomomasa Sato, “Object Localization by Cooperation between Human Position Sensing and Active RFID System in Home Environment”, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.4, No.3, pp.191-198, 2011.
- [10] T.Germa, F.Lerasle, N.Ouadah, V.Cadenat, “Vision and RFID data fusion for tracking people in crowds by a mobile robot”, Computer Vision and Image Understanding, Vol.114, No.6, pp.641-651, 2010.
- [11] T.Deyle, H.Nguyen, M.S.Reynolds, C.C.Kemp, “RFID-Guided Robots for Pervasive Automation”, Pervasive Computing, Vol.9, No.2, pp.37-45, 2010.
- [12] U.Steinhoff, B.Schiele, “Dead reckoning from the pocket - an experimental study”, Proceedings of the IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'10), 2010.
- [13] Lauro Ojeda, Johann Borenstein, “Non-GPS Navigation for Security Personnel and First Responders”, Journal of Navigation, Vol.60, No.3, pp.391-407, 2007.
- [14] 長谷川勉, 野原康伸, 村上剛司, “生活環境における日用品情報構造化のための床面センシングシステム”, 日本ロボット学会誌, Vol.28, No.9, pp.1144-1147, 2010.
- [15] 村上剛司, 松尾一矢, 野原康伸, 長谷川勉, 倉爪亮, “知的収納庫と Floor Sensing System を用いた物品追跡システム”, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3P1-7.
- [16] 長谷川勉, ピョコンソク, 田中真英, 辻徳生, 諸岡健一, 倉爪亮, “床上センシングシステムを用いた生活環境における移動物体の位置計測と居住者の行動推定”, 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.8, pp.769-779, 2013.