

アクティブ RFID タグ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

○日下 和也, 表 允哲 (九州大学), 長谷川 勉 (熊本高専),
辻 徳生, 倉爪 亮, 諸岡 健一 (九州大学)

Tracking Persons Using Active RFID Tag and Laser Range Finder

○Kazuya KUSAKA, Yoonseok PYO (Kyushu University), Tsutomu HASEGAWA (Kumamoto NCT),
Tokuo TSUJI, Ryo KURAZUME, Ken'ichi MOROOKA (Kyushu University)

Abstract: This paper describes a method of tracking persons in a room using active radio-frequency identification (RFID) tag attached to each person and laser range finder (LRF) placed on the floor. The location of a specific person is approximately estimated by received signal strength indicator (RSSI) of the active RFID tag. The exact position of the person is measured by LRF.

1. 緒言

超高齢社会の諸問題を解決する手段として、ロボットによる生活支援や、室内に配置されたセンサによる見守りシステムの実現が期待されている。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等が入室する。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、環境内に存在する特定人物の位置や行動の把握が不可欠である。

従来、RFID タグから得られる受信信号強度 (RSSI) を利用することで、広間やワンルームマンション型の部屋での特定人物や物品の位置を追跡する手法¹⁾が提案されている。しかし、RSSI に基づく位置推定は精度が低く、介護施設や病院の個室といった狭い環境下での人物追跡には、そのままでは適用困難である。また、足首付近の水平面を複数のレーザレンジファインダ (LRF) で走査し、駅構内等の広範囲、高密度の群集を計測する手法³⁾が提案されているが、特定人物の追跡や行動把握は困難である。我々は、床上に設置した LRF と壁に沿って設置した長尺狭幅の鏡 (フロアセンシングシステム) を用いて人の足を検出し、生活行動モデルに基づく居住者の行動認識を提案した⁴⁾。しかし、個々の人物の識別はできないため、特定人物の追跡は実現できていない。

本稿では、アクティブ RFID タグを身に付けた人の位置と、フロアセンシングシステムから得られる人の歩行軌跡を組み合わせ、複数の特定人物を同時に追跡する手法を提案する。環境内の天井四隅に設置したアンテナで、アクティブ RFID タグのタグ ID と RSSI を受

信する。RSSI は、一般にアクティブ RFID タグとタグリーダのアンテナとの間の距離に応じて変化する。この特性を利用し、RSSI をもとにアクティブ RFID タグを身に付けた人の位置を推定できる。しかし、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ケースが多い。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 と距離の間には正比例のような関係は成立しない。そこで、4 つのアンテナから得られる RSSI の組に再現性があることを利用し、環境内の様々な位置で RSSI を取得、学習し、アクティブ RFID タグを身に付けた人がいる可能性が高い領域をサポートベクタマシン (SVM) により推定する。この際、得られる信頼度を利用し、フロアセンシングシステムから得られる人の足位置と RSSI による推定位置の信頼度を組み合わせ、特定人物の正確な位置を出力する。

2. アクティブ RFID タグ

本稿で提案する手法で用いるアクティブ RFID タグ (TagStation model310, 九州テン, 315MHz, 500 μ V/m) の外観を Fig.1 に示す。タグリーダのアンテナは、Fig.2 に示した実験環境内の天井に、Fig.3 に示すよう設置した。このタグから得られる RSSI の特性を測定した。

Antenna 3 と Antenna 4 を結ぶ直線上を、高さ 1100[mm] で固定して床面と水平にタグを移動させる。その際 Antenna 3 で得られた結果を Fig.4 に示す。縦軸は RSSI の値を示しており、仕様上は 0 から 127 の 128 段階である。また、Antenna 3 と Antenna 4 の中央で垂直にタグを移動させた場合に Antenna 3 で得られた結果を Fig.5 に示す。さらに、Antenna 3 と Antenna 4 の中央

で高さ 1100[mm]の位置にタグを置き、Fig.6 の方向にタグを回転させた場合に Antenna 3 で得られた結果を Fig.7 に示す。 Fig.4, Fig.5 より、アンテナからの距離と RSSI には関係があり、再現性もあるといえる。しかし、正比例のような関係はなく、一定の関係式で両者を変換することは難しい。また、Fig.7 より RSSI はタグの姿勢にも影響を受けることが分かる。



Fig.1 Active RFID tag

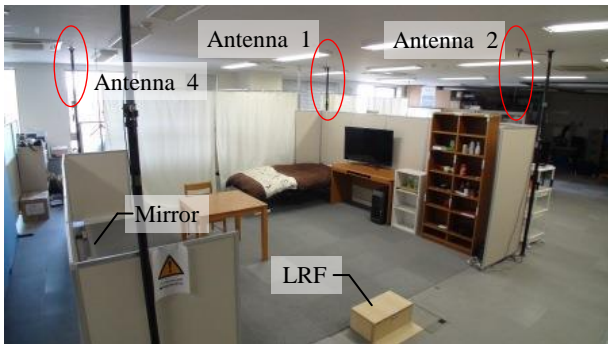


Fig.2 Experimental environment



Fig.3 Antenna of tag reader

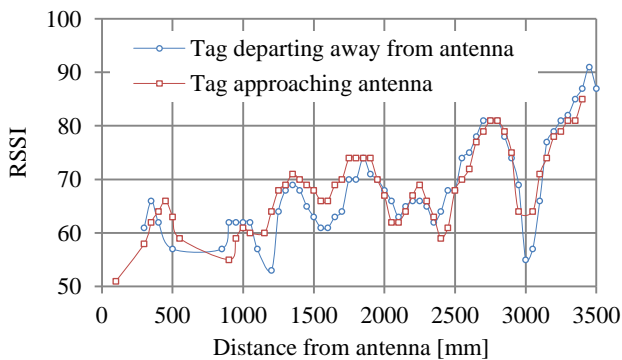


Fig.4 Change of RSSI with respect to horizontal motion of RFID tag

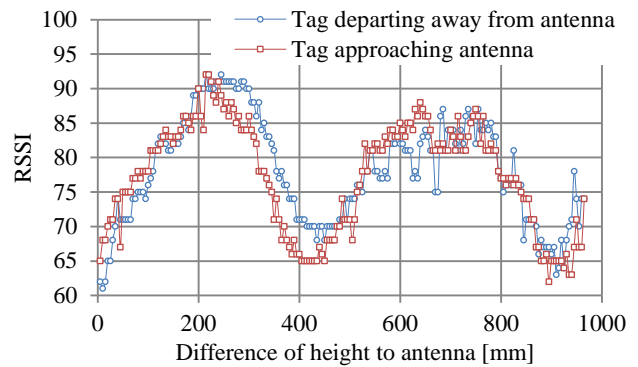


Fig.5 Change of RSSI with respect to vertical motion of RFID tag

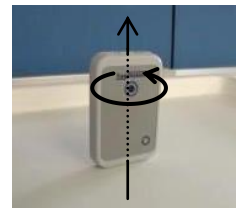


Fig.6 Axis of rotation

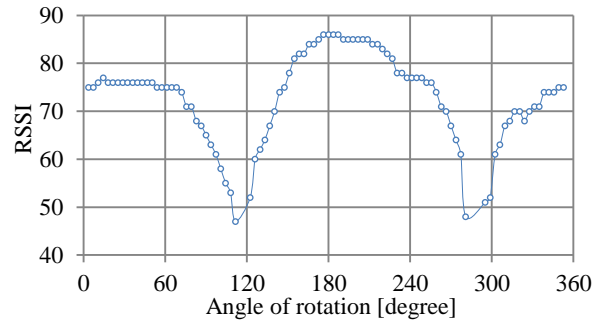


Fig.7 Change of RSSI with respect to rotation of RFID tag around an axis as shown in Fig.6

3. フロアセンシングシステム⁴⁾

フロアセンシングシステムは、Fig.8(a)に示す LRF と Fig.8(b)に示す長尺狭幅の鏡で構成される。計測対象は、室内での居住者の行動と環境変化であり、歩行軌跡や家具配置、物品搬送用ワゴン位置、および床上に置かれた日用物品である。そのため、Fig.8(c)に示すように、LRF をレーザー走査面が床面と平行かつ床面直上 27[mm] になるよう壁際に設置する。レーザーが走査する高さに壁に沿って鏡を配置することで、床面直上を LRF からの直接レーザーと鏡に反射したレーザーが走査することになる。床上に物体が存在しないときは壁までの距離が得られる。物体が置かれるとその表面までの距離が得られる。これらの差分を取ることで物体を検出し、その位置を計測する。また、LRF からは距離情報のほかに反射強度も得られる。反射強度の差を利用することで、椅子やワゴン、ロボットを特定でき、それらを除くことで人の足の特定が容易になる⁵⁾。

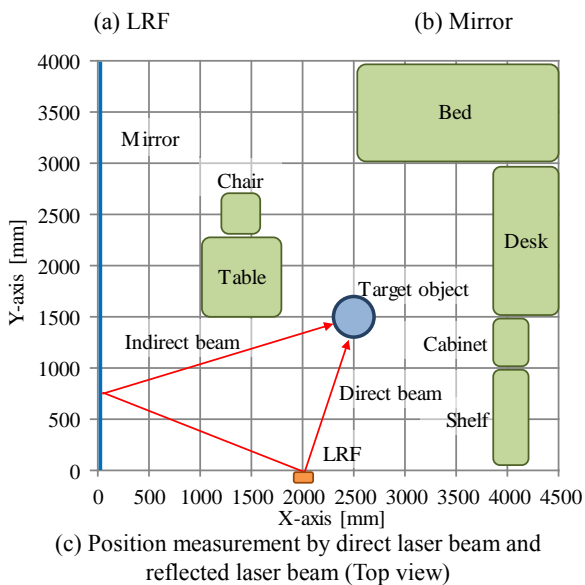


Fig.8 Floor sensing system

4. 人物追跡手法

4.1 タグ位置の学習と推定

2章で示したように、アンテナとタグとの間の距離とRSSIには正比例のような関係は成立しない。このため、一定の関係式で両者を変換し、タグ位置を特定することは困難である。そこで、4つのアンテナから得られるRSSIの組に再現性があることを利用する。

まず Fig.2 に示した実験環境を Fig.9 に示す 500[mm]×500[mm]の正方形領域に分割する。ただし、棚やベッド等があり人が歩行できない領域には番号を割り当てない。次に3つのタグを120[degree]ずつずらした3種類の姿勢で、高さを800[mm]で固定して実験環境内を移動させ、各領域でのRSSIの学習データを取得する。その後、各アンテナから得られる4つのRSSIを入力し、対応する領域番号を出力するようにSVMを学習させる。

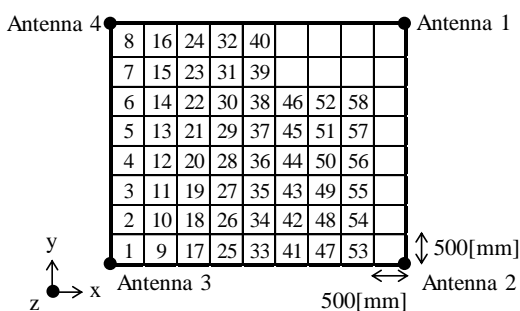


Fig.9 Allocated ID number of section

4.2 信頼度を用いた複数特定人物の追跡

Fig.7 に示すように、RSSIは姿勢によっても変化し、後述のように4.1項の手法では識別率が低い。そこで使用したSVM(LIBSVM)では各クラスの信頼度(その領域にタグが存在する確率)が得られることを利用し、信頼度を用いた複数特定人物の追跡手法を提案する。

本手法では、複数のタグと複数の人物が環境内に存在するが、どの位置、経路を移動した人物がどのタグを保持しているかは未知であるとする。

まず、ある時刻で計測されたRSSIから、Fig.9のそれぞれの領域ごとに、その領域にタグがあると仮定したときの識別結果の信頼度を求める。同時にフロアセンシングシステムにより、床上LRFから得られる距離情報と反射強度から人の足を抽出し、複数の人物の正確な位置、経路を計測する。次に、それぞれの人物の移動経路に対応した領域において、タグごとに信頼度を用いた重み付き投票を行い、最も高い得票が得られたタグを、その経路を移動した人物が保持していると推定する。

5. 実験

5.1 タグ位置の学習と推定実験

4.1項の手法を用い、実験環境内で得られた8924組のRSSIを用いて、3分割交差検証によりタグ位置を推定した。結果をTable.1に示す。これより平均で20.99[%]と、低い認識率しか得られないことがわかる。これは、3種類の姿勢でタグを固定し、姿勢を区別せずに認識したこと、タグから送信された電波の反射や回折によるRSSIの変動が大きいことが原因であると考えられる。

Table.1 Result of recognition

Number of validation	Recognition rate [%]	Number of data
1	16.88	8924
2	26.99	
3	19.80	
Average	20.99	

5.2 信頼度を用いた複数特定人物の追跡実験

4.2項の手法を用い、下記の手順で実験を行った。

1. それぞれ異なるタグを身に付けた人物2人がPerson 2, Person 1の順で環境内に入室する。Person 1がTag 1を、Person 2がTag 2を身に付ける。
2. Fig.10に示す2つの経路を通り、退室する。
3. 移動中に得られるそれぞれの人物の位置と各タグのRSSIを記録する。
4. 4.2項の手法により、経路とタグを結びつけ、それぞれの人物の位置を特定する。

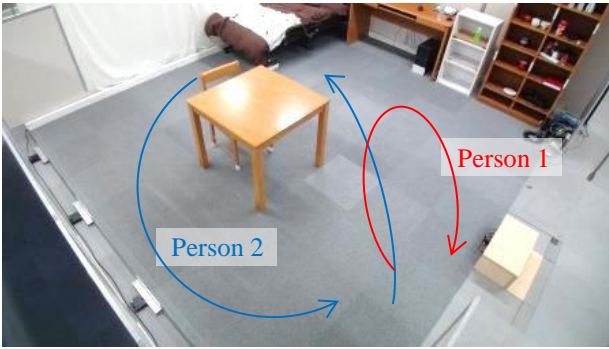


Fig.10 Migration path of two persons

5.3 実験結果

フロアセンシングシステムから得られた 2 つの歩行軌跡 (Trajectory A, Trajectory B) を Fig.11 に示す。Fig.11 の緑色の点と線がフロアセンシングシステムで計測された歩行軌跡である。また重み付き投票の結果を Table.2 に示す。Trajectory A について、Person 1 が身に付けた Tag 1 の重み付き得票数は 0.5339 であり、Tag 2 の重み付き得票数である 0.2868 より多い。この結果、Trajectory A は Person1 の歩行軌跡であると正しく識別された。Trajectory B についても同様に、Person 1 が身に付けた Tag 1 の重み付き得票数が 0.1035、Person 2 が身に付けた Tag 2 の重み付き得票数が 0.5468 であり、Trajectory B は Person 2 の歩行軌跡であると正しく識別された。

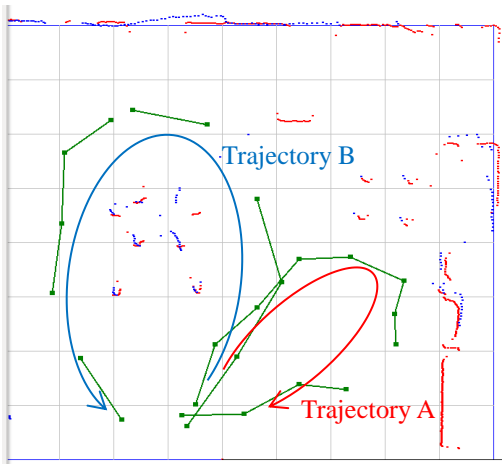


Fig.11 Person trajectory

Table.2 Number of votes obtained

	Tag 1 (Person 1)	Tag 2 (Person 2)
Trajectory A (Person 1)	0.5339	0.2868
Trajectory B (Person 2)	0.1035	0.5468

6. 結言

アクティブ RFID タグを身に付けた特定人物の大きな位置と信頼度を RSSI の学習により推定し、フロアセンシングシステムにより計測された人物の正確な位置と組み合わせることで、複数人物を識別しながら追跡する手法を提案した。また実験により、2 人を同時に追跡可能であることを示した。今後は、歩行軌跡が交差した場合の処理について検討する。

参考文献

- 1) Travis Deyle, Hai Nguyen, Matthew S. Reynolds, Charles C. Kemp: "RFID-Guided Robots for Pervasive Automation", PERVASIVE computing, pp37-45, the IEEE CS (2010).
- 2) 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).
- 3) 中村克行, 趙卉菁, 柴崎亮介, 坂本圭司, 大鋸朋生, 鈴木尚毅: "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).
- 4) 田中真英, 表允哲, 辻徳生, 長谷川勉, 諸岡健一, 倉爪亮: "レーザレンジファインダを用いた床上センシングによる室内生活行動の計測", 第 13 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論文集, 1H3-2, pp.592-595, (2012).
- 5) 表允哲, 田中真英, 長谷川勉, 辻徳生, 諸岡健一, 倉爪亮: "レーザレンジファインダの反射強度を利用した物体及びロボットの位置計測", 第 13 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論文集, 1H3-1, pp.587-591, (2012).