

電波式シート型センサを用いた人物足跡認識 Footprint Recognition using Sensing Sheet by Radio Wave

川合 諒 †
Ryo Kawai

高橋 祐介 †
Yusuke Takahashi

宮野 博義 †
Hiroyoshi Miyano

1 はじめに

立ち入り禁止エリアへの侵入検知や店舗における顧客の動線検出、高齢者の見守りなどといった様々な場面で、人の状態を把握したり、人物を追跡することが求められている。このような要求に応えるため、近年では、画像認識技術によって人の状態把握を行う提案が数多くなされている。

監視カメラを用いる方法 [1][2] では、身長の高い子供など、隠れた人を検出できないという問題がある。そもそも、カメラは、プライバシー上、トイレや病室などには設置できず、利用場所が制限される。

そこで、カメラの代わりに圧力センサなどのシートセンサを床に設置することにより、遮蔽やプライバシーの問題を回避しながら人の状態把握を行うアプローチが検討されている。例えば森ら [3] は、高解像度な圧力センサを床に設置することで、左右足の判別や足向きの推定、それをもとにした人物の追跡を行った。しかし圧力センサはコストが高いため、広い範囲に高解像度に敷き詰めることは現実的ではない。さらに、圧力センサは表面の変形を利用するものであるため、劣化が生じやすく、耐久性についても課題がある。

圧力センサ以外のシートセンサとして、近年、近傍電磁界式シート型センサが提案されている（以下、電波式シートセンサと呼ぶ） [4][5]。このセンサは比誘電率の高い水分や、導体である金属を含む物質が近傍電磁界と作用する性質を利用して、シート表面に物体があるか判別する。センサを構成する RFID タグが安価である点や、センサ動作に表面の変形を必要としないため耐久性が高い点で圧力センサより優れている。

そこで本論文では、電波式シートセンサの課題を明らかにしたうえで、シート上の足跡を復元し、足の左右識別や足向きの推定を行う方法を提案する。さらに、見守り用途として重要な車いすの認識方法についても提案する。

2 電波式シートセンサの特徴

2.1 センサの動作

電波式シートセンサの外観を図 1 に示す。シート内に並んでいる銀色の物体は UHF 帯のパッシブ RFID タグであり、シートの裏側には電波を送受信するアンテナが設置されている。タグの上には、電波を透過する物質でできた床材が置かれる（図 1 では透明な板を用いている）。図 2 に示すように、計測中はアンテナから弱い電波が絶えず発生しており、それを受けてタグが返す信号をアンテナが受信している。タグはアンテナから受けた電波で周囲に近傍電磁界を発生させて動作しており、人など、水分や金属を含む物質にタグが覆われると、その近傍電磁界の強度が弱まる。その結果、そのタグからの信号が減衰する。タグが物体に覆われるにつれ、信号は単調に減衰していく。この信号強度の変化から物体を検知している。近傍電磁界を用いるため、センサと物体が接触しなくても反応することが特徴であり、例えば、靴を履いている人物であれば、靴自体よりもその中の足の水分に反応する。以下では足跡復元結果を肌色で表現しているが、実際はすべて靴を履いた足を検知している。

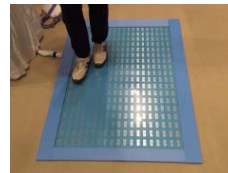


図 1 シートの外観

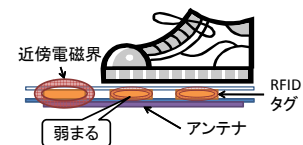


図 2 シートが反応する仕組み

2.2 課題

シートセンサで人物の状態を把握するには、シート上の足跡を復元する必要がある。しかし、本シートには以下のような問題があるため、単に足が乗った状態の信号強度を可視化しただけでは、図 3(a) のように、足跡を復元することが困難な画像が得られる。

■信号強度のばらつき 各タグの個体差やアンテナとの距離、置かれている環境によって、実際の信号強度にはばらつきが発生する。

■低空間解像度 タグ同士が近くにあると、互いの干渉で信号強度が不安定になる場合がある。このため、各タグは離して設置する必要があり、 [3] と比べて約 1/40 の低解像度になる。

3 足跡復元方式

課題を解決し、足跡復元を行った手順を述べる。

3.1 信号強度の正規化

タグに物体が乗っていない状態の値を 0、タグが物体に完全に覆われた状態の値を 1 に正規化することにより、図 3(b) のように、反応箇所が浮き出てくる。なお、この処理により、大小関係が逆転することに注意されたい。

3.2 高解像度化

タグが対象物体に覆われるにつれ、信号強度が単調に減少することから、画像処理で通常用いるような補間を行うことで、タグとタグの間の値をシミュレーションすることが可能である。本論文ではバイキュービックによる補間を行っている。この処理により、図 3(c) に示すようにシート上の足の形状が復元できる。

シート上に足が乗っている時の出力画像を図 4 に示す。タグを覆う足の水分に反応することから、地面に接していない土踏まちは反応せず、タグを覆う面積が大きいつま先の方が、出力画像上でも大きい面積で出力されている。これを用いて、足向きや左右足の判別が可能である。

4 人物足跡認識

本節では、足跡復元後の認識処理について述べる。

初めに、出力画像に対してラベリング処理を行い、部分ごとに分割しておく。この各部分を以下プロブと呼び、足跡相応の大きさのプロブのみに対して以下の処理を行う。

4.1 足向き推定と左右足推定

足は前後方向に細長いため、楕円に近似すると、長軸方向がつま先とかかとを結ぶ線になる。プロブを楕円に近似したとき

† 日本電気株式会社

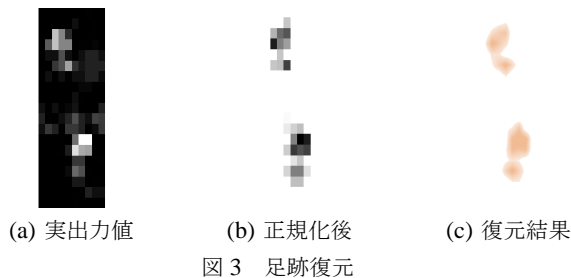


図3 足跡復元



図4 足の出力の様子

の長軸の向きは、慣性主軸の向きに相当し、プロブの中心モーメント μ_{ij} を用いて、以下のように求められる。

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}} \right) \quad (1)$$

そして、慣性主軸に平行な辺と垂直な辺からなる外接矩形 R 中の画素値分布から、つま先と土踏まずの位置を推定する。つま先は矩形 R を慣性主軸と垂直な方向に2等分して出力面積が大きい方に、土踏まずは矩形 R を慣性主軸方向に2等分して出力面積が小さい方であると推定される。この情報を利用して、足向きと足の左右を判定する。図5に例を示す。両矢印の方向が慣性主軸であり、黒枠が外接矩形 R である。この場合、上半分と下半分では上半分の方が面積が大きく、左半分と右半分では左半分の方が面積が大きく、したがって、上半分につま先、右半分に土踏まずがあり、この足は、紙面上向きの左足であることがわかる。

4.2 足と車いすの識別

以上では復元された画像をすべて足跡として処理してきたが、当然シートには足以外が乗る可能性もある。特に高齢者の見守りを考えたとき、車いすを判別することは、介助の必要性などを判断するうえで有用である。そこで、足と車いすの識別も導入する。区別するポイントとしては、対称性などの形状的特徴や、出力面積の違いが挙げられる。このことから、特徴量として、形状的特徴をスケールや回転の違いによらず得られる7次元のHuモーメント不変量[6]と、出力面積とを合わせた8次元のベクトルを用い、それらを線形SVMにより学習させ、識別を行った。

5 性能評価

左右足・前後判定の性能については、述べ639個の足跡のみが記録されたデータによる出力結果と実際の状況を目視で確認して検証した。その結果、足検出には全体の98.4%が成功し、さらに前後左右の推定まで成功したものが全体の84.8%となった。今回の評価は実験室において、足以外が乗らないようにした理想的な環境で行ったため、足検出に失敗する例は非常に少なく、すべて未検出によるものであった。足検出の失敗例としては、図6(a)のように、かかととつま先が分離しているのが見られた。かかとが高い靴が乗っていると、このような出力になる場合がある。左右足・前後推定が失敗する例としては、図6(b)のように土踏まずの部分が出力として現れないのが見られた。扁平足のように、土踏まずが現れない人に対しては、本論文の手法は対応できない。別の足との位置関係から推定するなど、別の手法をとる必要がある。

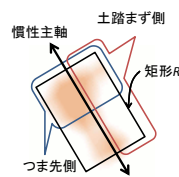


図5 向き判定と左右足判定

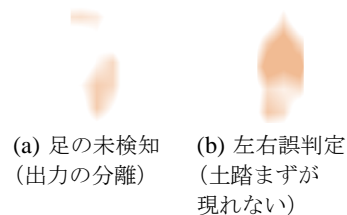


図6 足向き・左右足判定の失敗例

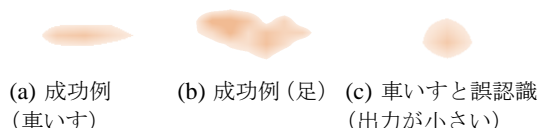


図7 足・車いす判定

足と車いすの判別は、車いす4030個、足跡2816個のデータによる5分割交差検証により評価した。その結果、全体では正解率は81.1%となり、そのうち足の正解率は66.0%、車いすの正解率は91.7%となった。図7(a), 7(b)のように、類似した形状を正しく判定できている一方、足を車いすとして認識する場合が目立つ。典型的な失敗例として、図7(c)のように、足が離れる直前の、一部だけ接したタイミングで得られたと思われる小さな出力を誤認識していることが挙げられる。判定結果に出力面積が寄与しすぎていることが考えられる。改善策としては、時系列に沿って識別結果を統合したり、足の離散的な動きと車いすの連続的な動きから判断したりすることが挙げられる。

6 おわりに

本論文では、カメラが適さない環境での人物状態把握方法として、電波式シートセンサによる人物の足跡認識を提案した。出力にばらつきがあり空間解像度が低いという課題を明らかにするとともに、その課題を出力値の正規化と補間による高解像度化により解決し、足向きや足の左右識別を行った。さらに、高齢者の見守りを想定し、足と車いすの識別も導入し、それぞれで提案手法の有効性を確認した。

今後の課題としては、時系列情報を用いるなどによって、これら認識・判定の精度を改善させ、その結果を利用した人物追跡を行っていくことが挙げられる。

参考文献

- [1] 林健太郎, 羽下哲司, 関真規人, 笹川耕一. 映像監視における人物位置行動の検出技術 (<特集>人をみる). 情報処理学会論文誌. CVIM, Vol. 47, No. 9, pp. 12–20, June 2006.
- [2] 高橋正樹, 藤井真人, 柴田正啓, 佐藤真一. 人物軌跡に基づく混雑映像からの特定行動検出. 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, Vol. 109, No. 470, pp. 419–424, Mar. 2010.
- [3] 森武俊, 星名真幸, 森下広, 原田達也, 佐藤知正. センシングフロアによる人の識別・追跡. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, No. 1A1-1F-A2, 2003.
- [4] 比嘉恭太, 福田浩司, 佐藤貴美, 包蕊寒, 服部渉, 岩元浩太. 画像認識とセンサシートを用いた店舗内商品のリアルタイム把握システム. 第13回情報科学技術フォーラム, Sep. 2014.
- [5] W. Hattori, K. Ohashi, and H. Fukuda. Near-field RFID tag antenna based sensing: A new sensing approach using UHF RFID. submitted to Proc. Internet of Things 2014.
- [6] Ming-Kuei Hu. Visual pattern recognition by moment invariants. Information Theory, IRE Transactions on, Vol. 8, No. 2, pp. 179–187, Feb. 1962.