

赤外線グリッドセンサを用いた屋内位置・行動推定の粒度及び精度の検討

Granularity and Precision Investigations of Indoor Human Position and Behavior Estimation Using Infrared Array Sensors

岡田遼太郎*¹
Ryotaro Okada

矢入郁子*¹
Ikuko Yairi

*¹ 上智大学大学院 理工学研究科 理工学専攻 情報学領域
Graduate Schools of Science and Technology, Sophia University

Recently, system developments for nursing and monitoring are getting noticed in Japan, which has been entered into super aged society. The sensing system that identifies indoor human locations and behaviors was developed in our past studies. The sensing system has low privacy issue because law data from that have high degree of abstraction by using infrared array sensors. This article shows a result of granularity and precision investigations of indoor human position and behavior estimation, which was found through analyses of time-series infrared array data from experiment of a blind or an old person.

1. はじめに

超高齢社会に突入した日本では、介護や見守りのシステムに対するニーズが高まっている。カメラベースのモニタリングシステムは見守りや防犯のシステムの基本となるものであるが、それがプライベート空間に用いられることは、見守り対象者の生活のプライバシーを侵害することにつながる恐れがある。また、見守りシステムに求められる仕様は対象者によって異なるため、例えば、ベッドから落ちるといったある特定の行動を知らせるのみのシステム[大内 2010]では全ての見守り対象者のニーズに応えることができない。また、あらゆるニーズを満たすシステムを構築するには多大な設備費用がかかっていたりしてしまうのが現状である[佐藤 2001]。

本研究は、これらの問題を解決するために、人のプライベート空間におけるプライバシーを侵害せず、見守りの多様なニーズに柔軟に対応可能で、なおかつ低コストで実現可能な見守りシステムを構築することを目的とする。本稿では、新たに行った視覚障害者を対象とした実験結果と、壁に赤外線アレイセンサを設置することによって実現できる、新たな見守りシステムの可能性について述べる。

2. 屋内行動モニタリングシステム

2.1 赤外線アレイセンサを用いたデータロガー

筆者らは屋内の見守りにおけるプライバシーの問題を解決するため、生データの抽象度が高い赤外線アレイセンサを用いた、低電力かつ取り付けが容易なデータロガーと、そのデータの分析からなる屋内行動モニタリングシステムの開発を行ってきた。図1に、開発したデータロガーを示す。データロガーに搭載された赤外線アレイセンサ(Grid-Eye)は8×8(64画素)の素子を持っている。このセンサとmicroSDカードリーダー・ライターを組み合わせ、センサから得た値と、そのときの時刻をリアルタイムクロックモジュールから取得し、随時テキストファイルに記録する。センサ類の制御にはマイコンボードのArduino Unoを用いており、9600mAhのバッテリーから給電する。

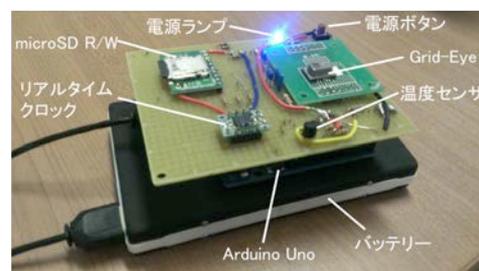


図1 赤外線アレイセンサを用いたデータロガー

2.2 モニタリングシステム概要

本研究では赤外線アレイセンサを用いたデータロガーを天井に取り付け、人の状態・行動モニタリングを行う。以下の図2のように、屋内における床面上の座標に対応した赤外線値を収集し、それぞれの座標における温度差を用いることで、人の位置や姿勢を検出する方法を用いる。作成したデータロガーを屋内の天井に下向きに取り付け、人の位置を赤外線分布として取得する。筆者らはこれまで、天井に取り付けられたデータロガーで収集したデータを、サポートベクターマシン(SVM)を用いて分類することで、屋内の人数や椅子に腰掛けている状態の推定が、高い精度で可能であることを示してきた[岡田 2013]。このデータロガーのサンプリングレートは10fps、温度の分解能は0.25°Cである。赤外線アレイセンサの視野角は60°で、データロガー1台で収集できる範囲は、天井の高さに依存する。

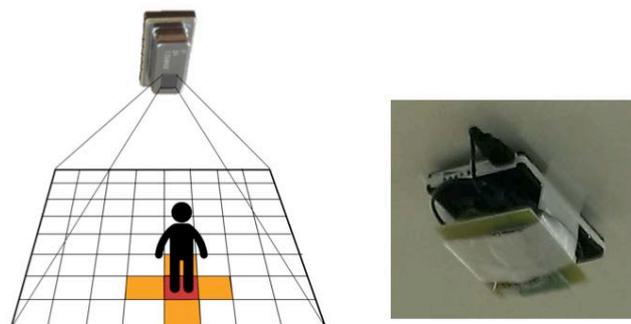


図2 モニタリングシステムの概要

連絡先: 岡田遼太郎, 上智大学大学院理工学研究科理工学専攻情報学領域, 102-8554, 東京都千代田区紀尾井町7-1, okada@yairilab.net

3. 独居視覚障害者見守り実験

視覚障害者を対象に、本システムを使ったデータ収集を行い、このシステムでどの程度、特徴的な行動が取得できるか検証を行った。協力してもらった被験者は、1人暮らしをしている全盲の35歳の男性である。この被験者の自宅の天井にデータロガーを複数個設置し、被験者の行動を赤外線データのデータとして記録した。また、この実験では被験者の視覚障害者の特徴的な行動がどれほど赤外線センサで収集できるかを検証するために、ビデオカメラによる動画撮影も同時に行った。

ビデオカメラの動画を参照しながらデータロガーで収集した温度データを見ると、被験者がいる位置の変化が、温度値分布として細かく現れている。具体的には、わずかな位置の変化でも、温度値の一番高い画素が変化している。また、座っている状態より、立っている状態の方がデータロガーに近づくため、温度値の高い画素が増える。図3にそのときの状況と赤外線値の対応関係を示す。

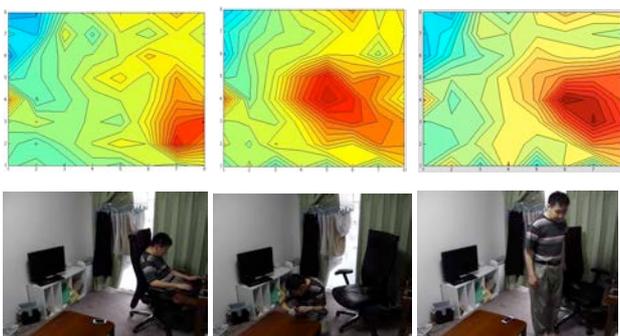


図3 被験者の場所別のデータ

(左:椅子に座りPC操作 中央:床に座る 右:起立)

また、例えば椅子に腰掛けている状態のみでも、座っている向きや、腰掛ける深さで温度値分布が異なっている。また、頭が傾いていてセンサ部分に対して首の露出部分が多い場合は、首から発せられる赤外線を多く感知できるため、直立している場合に比べて温度値が高くなる傾向がある。以上より、収集した温度データから小さな姿勢の変化も分類できる可能性がある。図4にそのときの状況と赤外線値の対応関係を示す。

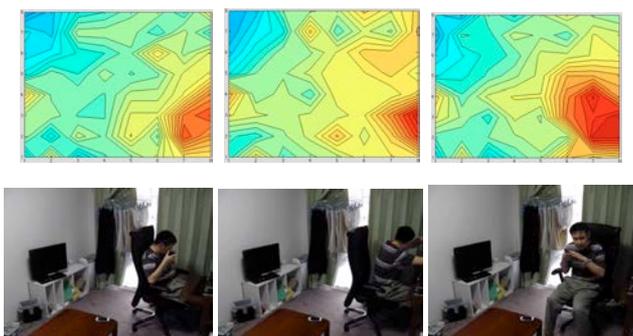


図4 被験者の椅子に着席中の状態別データ

(左:スマホ操作 中央:机の方に身を乗り出す

右:机と平行の向き)

これらの結果から、視覚障害者の生活において、被験者の細かな位置や姿勢を分類することが可能であり、今回作成したデータロガーは視覚障害者の見守りに利用できる可能性がある。

また、実験後に被験者に対してヒアリングを行ったところ、データロガーの存在は全く気にならず、普段通りの行動をしてい

たとの回答を得た。また、赤外線データの共有についても了承を得ることができた。このことから、被験者がこの方法においてプライバシーを侵害されていると感じることがなく、赤外線データを分析に用いることにも抵抗がないということが言える。一方、視覚障害者が住んでいる屋内では、慣れたあとでも壁にぶつかったり、ドアを間違えたり、どこにいるかわからなくなるような状況があるという。こういったことは、特に広い部屋で起こりやすいと考えられる。今回のシステムを用いれば、人がどこでどういった状況にあるのかが推定可能であるので、そういった支援に応用することができる。

4. 加速度データを付加した見守り実験

4.1 高齢者歩行時加速度データの特徴

次に高齢者を対象に、本システムを使ったデータ収集を行った。高齢者は屋内における転倒の危険性が高く、怪我をしてしまうだけでなく、転倒することへの恐れから行動することを制限してしまうこともある。そのような行動の制限は高齢者の体力を減退させたり、認知症を悪化させたりして、負の悪循環を生む要因の一つとなっている。以上のような背景から、自宅における高齢者の転倒に結びつくような行動を検出できれば、転倒の危険の存在を知らせることのできるシステムに応用できる可能性がある。

加速度データは、人間行動の測定に適しており、加速度データを用いた人間行動分析が多くの研究でなされている[新井2011]。加速度データも赤外線データと同様に生データの抽象度が高く、人がそのデータを見てもプライベートな情報が知られることがないので、本研究のプライバシーに配慮した屋内見守りシステムの目的に適しているといえる。

以上を踏まえ、本実験では、77歳の女性の健常高齢者1名と、彼女と同居する21歳の男性の健常者1名を対象に、赤外線アレイセンサを用いたデータロガーによるデータ収集に加え、加速度センサによるデータ収集も付加して実験を行った。この実験では、高齢者の自宅の天井に赤外線アレイセンサを用いたデータロガーを複数取り付けることに加えて、高齢者の腰に iPod touch を取り付け、被験者の加速度データも記録した。データ収集は3日間行った。図5に本実験で得られたそれぞれの加速度データを示す。

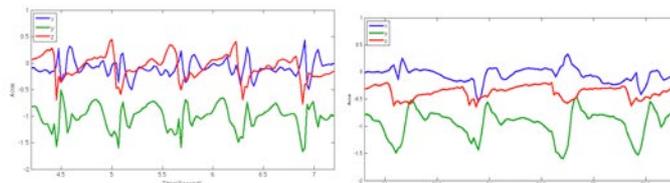


図5 健常者の歩行(左)と高齢者の歩行(右)の加速度波形

得られた加速度データを参照すると、それぞれの被験者の歩き方の違いが現れていることがわかる。例えば、歩くペース、地面を蹴る力、脚への荷重負荷、歩行の左右のぶれなどである。

4.2 赤外線アレイデータと加速度データの統合

センサの不具合により、高齢者を被験者とした実験で赤外線アレイデータが収集できなかったため、そのときと同じ自宅内で21歳の健常男性のみを被験者に、赤外線アレイセンサを用いたデータロガーと、iPod touch を使って、同様の実験を再度行った。この実験から得られた加速度データと赤外線アレイデータを参照すると、加速度データには歩行動作や着席動作、静止状態などが現れ、その人の運動状況を詳しく判断することができる。

また、赤外線データには、独居視覚障害者見守り実験のときと同様に、被験者のいる位置の変化や、起立時や着席時の変化が温度値分布に現れている。以上のような加速度データと赤外線アレイデータのそれぞれの特徴を組み合わせることで、抽象度の高いデータを二種類組み合わせることで、特定の具体的な行動を正確に抽出できる可能性がある。

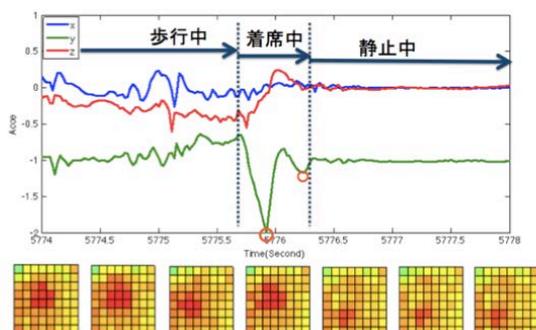


図4 着席時の加速度波形と赤外線分布

加速度データから人間行動を分類する研究は多くなされており、このシステムには様々な応用方法が考えられる。例えば、加速度データから被験者の行動状況を推測し、部屋のモデルと組み合わせることで、被験者の場所と行動を結び付けることができ、それによってどのような危険が起こりうるかを予測することができると考えられる。

5. 壁へのデータロガー設置

5.1 実験状況

今までは天井のみにデータロガーを取り付けて評価を行ってきたが、実験を行っていくなかで、天井へのデータロガー設置が困難な場合があり、天井以外の場所へデータロガーを設置することで、本見守りシステムが利用できた方が良いという意見があった。また、最悪の場合、天井からデータロガーが落下する場合は考えられ、部屋内にいる人にぶつかって怪我をしまう恐れもある。

そこで筆者らは、壁面へのデータロガーへの設置による見守りの可能性について考えた。壁面へのデータロガーの取り付けは、天井への取り付けよりも容易で、取り付けの最中に怪我をする危険性も少ない。また、壁に取り付けたデータロガーが万一落下してしまったとしても、被験者のいる位置より低い場所にデータロガーを取り付ければ、致命的な怪我をする危険性は天井に取り付けた場合よりも低い。

また、壁面にデータロガーを取り付けた場合、どのような特徴のあるデータを得ることができるのか興味があり、天井に取り付けたデータロガーからの赤外線アレイデータと組み合わせることで新しい発見がある可能性がある。以上のような点を踏まえて、本章では壁面にデータロガーを取り付けてデータ収集実験を行い、得られたデータがどのような特徴を持つのかについて、評価した結果を報告する。

この実験の被験者は23歳の男性で、実験を行った場所は彼の自室である。その部屋の間取りと、壁面へのデータロガーの設置場所を図6に示す。図6において、壁面に設置したデータロガーは、壁面に対して部屋の内側の鉛直方向に向いている。

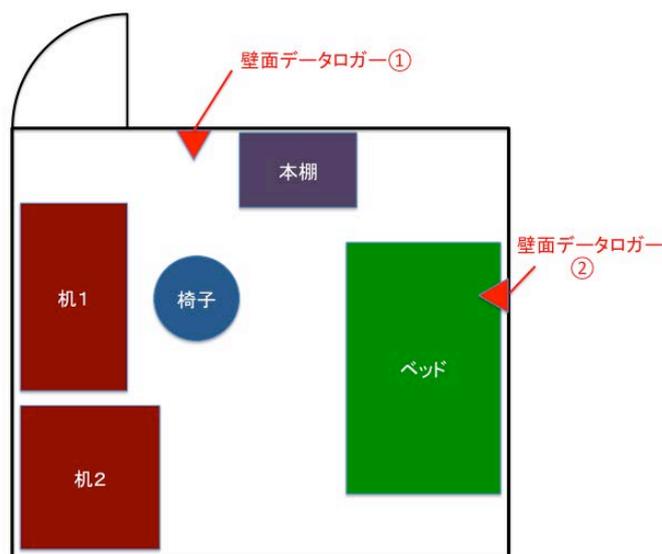


図6 部屋の間取りと部屋に設置したデータロガーの場所

このようにデータロガーを壁面に2個取り付けることに加えて、今までの実験と同様に、ベッドの真上の天井に下向きにデータロガーを1個設置した。

5.2 収集データの特徴

次に、この実験で得られたデータの特徴について考察する。図7は椅子に座って机に向かっていているとき、図8はベッドに腰掛けているとき、図9はベッドに仰向けに寝ているときの赤外線アレイデータを示している。なお、これらの図において、赤外線アレイデータは、左から「ベッドの上の天井」、「図6における壁面データロガー①」、「図6における壁面データロガー②」をそれぞれ表している。

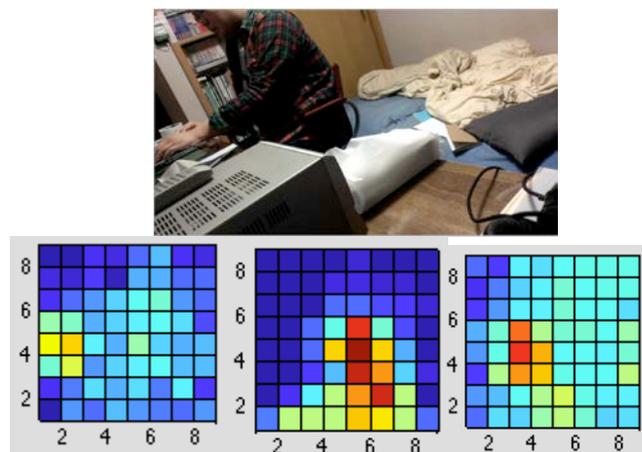


図7 椅子に座り、机に向かっていている状況

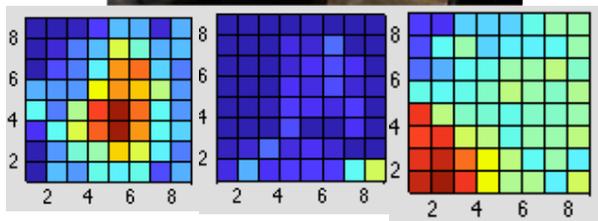


図8 ベッドに腰掛けている状況

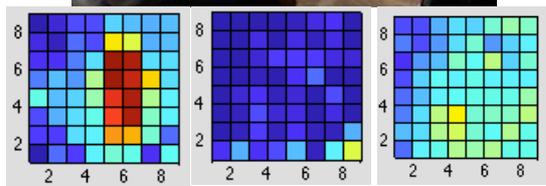
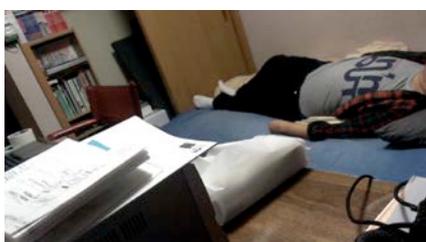


図9 ベッドに仰向けに寝ている状況

これら3つの状況は、ベッドの上の天井に取り付けた赤外線アレイセンサのデータのみでもその違いによって分類されるが、壁面に取り付けたデータロガーの赤外線アレイデータをみると、それぞれの状況によって赤外線値が全く異なっていることがわかる。

具体的には、本棚の横の壁面に設置した「壁面データロガー①」のデータは、被験者がベッドの上にいる場合は、ほとんど赤外線値を示さない。逆に、椅子に腰掛けているときや、本棚に立っている場合などは高い赤外線値を示し、被験者の姿勢の細かい状況を判別することができる。

ベッドの横の壁面に設置した「壁面データロガー②」のデータは、椅子に腰掛けているときは赤外線値の広がりが小さく、ベッドに腰掛けている場合は赤外線値の広がりが大きい。

以上のようなことを踏まえると、壁面にデータロガーを設置した場合は、設置場所からの距離を赤外線値の広がりから推測することができ、その距離が近い場合は、そのときの被験者の姿勢などの細かい情報が得られるという特徴がある。

5.3 将来について

壁面へのデータロガーの設置のみで、部屋内全ての領域をセンシングするには多量のデータロガーが必要になってしまうが、ある特定の場所における状況を細かく見守りたい場合には、壁面へのデータロガーの利用は有効な手段といえる。そのため、見守りに関する本システムの方向性として、天井に設置したデータロガーによって、被験者の部屋内のおおよその位置や状況

を把握し、例えば転倒の危険性が高い階段やベッド周りなど、より詳細に状況を見守りたいような場合は、その壁面にデータロガーを設置するような使い方ができるようにしたい。

そういった使い方を実現することで、人によって異なる様々な見守りニーズに対して、柔軟に対応することが可能になると考えられる。現在は試作段階であるが、データロガーは1つあたりおよそ 5000 円程度で製作することが可能である。もし量産すればより低コストで製作することができると考えられ、本システムは低価格で誰もが利用できるシステムになりうる。

6. おわりに

本研究は人のプライベート空間においてプライバシーを侵害せず、見守りの多様なニーズに柔軟に対応可能で、なおかつ低コストで実現可能な見守りシステムを構築することを目的としている。本稿では新たに行った視覚障害者を対象とした実験結果と、高齢者を対象とした加速度センサを追加した実験結果、壁に赤外線アレイセンサを設置することによって実現できる、新たな見守りシステムの可能性について述べた。

視覚障害者を対象とした実験では、椅子に腰掛けた状態での細かい姿勢の変化などが赤外線アレイデータに現れていることがわかり、ヒアリングから分かった見守りニーズを満たせる可能性が判明した。また、高齢者を対象に行った実験から、加速度データと赤外線アレイデータを組み合わせることで、特定の場所における転倒の危険性を検出できる可能性があることがわかった。最後に、天井のみならず壁へデータロガーを設置することで、天井に取り付けた場合とは異なる特徴を持つ赤外線アレイデータが得られ、特定の状況について、より詳細に精度よく見守りができる可能性が判明した。今後は天井と壁への両方へデータロガーを設置してより多くのデータを収集し、対象によって柔軟に対応できるような見守りシステムの実現に向けて前進したいと考えている。

謝辞

本研究は(財)テレコム先端技術研究支援センター(SCAT)の助成により実施されました。

参考文献

- [佐藤 2001] 佐藤 知正: 生活を支えるネットワーク知能機械—ロボティックルームの試み, 東芝レビュー Vol.56 No.9, 2001.
- [大内 2010] 大内 久和, 西田 佳史, 金 一雄, 本村 陽一, 溝口 博: ロボティック遊具ノボレオンを用いた遊び行動センシングとモデリング 第2報—分散負荷センサネットワークを用いた小学生用ロッククライミング遊具型センサの開発と大規模ラダリング行動の計測—, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 一般社団法人日本機械学会, 2010.
- [岡田 2013] 岡田 遼太郎, 矢入 郁子: プライバシーに配慮した屋内行動モニタリングシステムの提案, 人工知能学会全国大会論文集 1D3-6, 一般社団法人人工知能学会, 2013.
- [新井 2011] 新井 智之, 柴 喜崇, 渡部 修一郎, 柴田 博: 10m 歩行における歩行周期変動と運動機能, 転倒との関連—小型加速度計を用いた測定—, 理学療法学 第 38 巻 第 3 号, 公益社団法人日本理学療法士協会, 2011.