

令和元年6月12日現在

機関番号：21602

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00334

研究課題名（和文）小規模人感センサーネットワークに基づく行動パターン認識に関する研究

研究課題名（英文）Activity recognition based on a small scale sparse sensor network

研究代表者

趙 強福（ZHAO, QIANGFU）

会津大学・コンピュータ理工学部・教授

研究者番号：90260421

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、高齢者を見守るシステムについて検討し、以下の成果を上げました。1）センサーマトリックスを利用して居住者の位置や行動強度を認識できることを確認し、機械学習に基づく認識・推定方法を提案した。2）大量の学習データを効率よく収集するために、ビデオに基づく自動ラベリング技術を提案し、位置・行動の実時間認識を可能にした。3）センサーマトリックスのユーザビリティを向上するために、センサーモジュールについてさまざまな改善を施し、最終的に、コンパクトで実装しやすいセンサーモジュールを提案し、試作した。今後、本研究の成果を生かし、プライバシーを保護しながら高齢者を見守るシステムを商品化していきたい。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本のような超高齢者社会において、効率よく高齢者を見守るためには、AIが必要となる。本研究の成果は、プライバシーを守りながら、高齢者の日常活動のある程度見守ることができる。特に提案したセンサーモジュール（出願済み）は、通常の部屋に設置しやすい特徴がある。それを制御する機械学習モデルと合わせれば、近い将来の実用化が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed a monitoring system for taking care of elderly people who lives alone or lives with his/her spouse only. The main results obtained are as follows. 1) We have confirmed that a sparse sensor matrix can recognize the position and activity strength of the resident(s) very accurately, and we have proposed recognition methods based on machine learning; 2) We have proposed a video-based technique for automatic data labeling, and this technique makes it possible to recognition the position / activit strength in realtime; 3) To improve the usability of the sensor matrix, we have designed several sensor modules, and finally proposed a compact module that can be installed in a normal living room easily. Based on the results, we are going to commercialize the sensor module, and provide privacy preserving monitoring services.

研究分野：人工知能

キーワード：人工知能 機械学習 スマートホーム 見守りシステム プライバシー保護 在宅見守り

1. 研究開始当初の背景

スマートホーム(SH)或いはスマートハウスは、スマート空間或いはスマート環境を「いえ」に限定したものである。コンセプト自体は1980年代後半にアメリカで提案されたが、その意味は、時代とともに変わっている。元々SHの狙いは、家の「全自動化」である。例として、エアコンや冷蔵庫などの家電商品の自動制御によって日々の消費電力を最小化することや、ライトの自動調節によって読書や晚餐などに最適な照明を提供することなどが挙げられる。極端に言えば、SHは、利用者が見ようと思われるテレビを付けたり、通過しようと思われるドアを開けたり、イライラになろうと思われるときに軽い音楽を流したり、などをする利口なシステムである。有名なビル・ゲイツの「未来の家」や、総務省と積水ハウスを主体に作られた「観環居」などはこのようなSHの例である。

上の例はあくまでもSHの理想像である。このようなSHは、普通の国民の家というよりも、会社或いは国の技術を披露するショーロームである。現実的には、既存の建築に、少しだけのIT技術を取り入れることによって、国民生活をより便利にすることが求められている。この線に沿って考えたのが、HEMS(Home Energy Management System)である。総務省とアクセントを主体に行われている会津若松スマートシティプロジェクトや経済産業省とKDDIを主体に行われているHEMSプロジェクトなどはその例である。HEMSの狙いは簡単である。即ち、各家庭の使用電力を可視化さえすれば、各家庭が最適に電力を使用できると、電力会社も最適に電力を作ることができるので、社会全体の効用を高めることができる。

しかし、電力データだけではSHを実現することが困難であると考えられる。SHの基本は、利用者の行動と環境の変化パターンを検出・認識し、利用者の意図を察知・予測をし、適切なサービスを適時に提供することである。そのために、さまざまなセンサーデータを融合する必要がある。ワシントン州立大学のCASAS Smart Homeやマサチューセッツ工科大学のMIT Smart Homeなどはその例である。これらの研究は、学術的にはUbiquitous computingやAmbient intelligenceと呼ばれ、SHを構築するために、情報融合、異常検出、頻出パターン検出などの問題を人工知能や機械学習の方法で解決することを目標としている。

既存の研究には、およそ2つの問題点がある。第一、利用されるセンサーの種類や数が多すぎで、センサーの取り付け、維持管理などが難しいし、プライバシーが侵害されやすい問題がある。第二、行動パターンの認識結果を評価しにくい。時系列予測の場合、時間が経つと前の時刻の正解はわかってくるが、行動パターン認識の場合は、時間が経っても、カメラなどで直接に確認しなければ、認識結果の正しさがわからない。

本研究者が、KDDI研究所と共同で、宅内センサーデータの調査を行い、会津若松市在住の5世帯と学生シェアハウスで実験を行った。取得したデータを解析し、幾つかの知見を得られた。特に人感センサーについて、従来、センサー出力の0か1をそのまま利用し、人の在・不在だけを予測した。われわれは、センサーデータを元に、居住者の行動強度(AS: activity strength)を以下の式で算出した:

$$S_a(n) = \frac{\sum_{t_j \in W(n)} d(t_j)}{f_0 \cdot |W(n)|}, n = 1, 2, \dots \quad (1)$$

ここで、 W はスライド窓で、 $|W|$ がその幅、 t_j が W に含まれるセンサー出力の時刻、 $d(t_j)$ が観測データ、 f_0 がセンサー出力の基準周波数である。上式で定義された時系列は、センサーの近くにいる人の動きの強度である。

右図はその一例である。図からわかるように、生のデータ(上の図)から良くわからないが、AS(下の図)を見ると人が何時このセンサーの動作範囲に入っているか、そしてどれくらいの強さで行動しているか、などを大まかに予測することができる。実際、われわれは居住者の行動を、「外出、睡眠、微動(TV, PCなどを見る)、常動(掃除など)」、4種類に分け、ASとその微分(差分)と積分(積算)を元に、ファジィ論理で認識を行った。結果として、8割以上の認識率を得られた(iCAST2014とiCAST2015)。

また、ASを元に、同じ家族の違う人の行動パターンの相関を求め、家族内の「ハーモニー度」を測定したり;同じ人(特に高齢者)の、異なる日の日常行動パターンの相関を求め、その人の平常・異常行動を検出したりした。測定・検出精度を高めるために、われわれが短時間相関を提

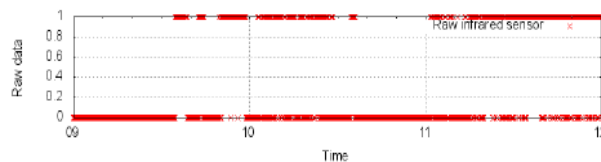


Fig. 1. Graph of the raw data

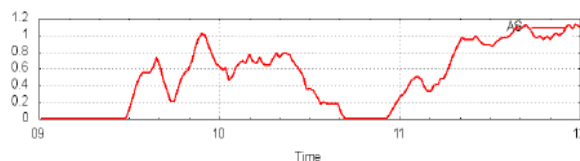


Fig. 2. Graph of the AS

案し、その効果を確認した (iCAST2015, TENCON2015)。

2. 研究の目的

しかし、同じ部屋に何人いるか、どの人がどこにいるか、どの人が何をしているか、などについては、一つの人感センサーだけでは、識別できない。そこで、本研究は以下のシナリオを想定し、高齢者在宅ケアに特化した SH における位置・行動認識を提案したい。そのためには、単一人感 (或いはモーション) センサーのマトリックス (或いはセンサーアレー) だけを利用する。これによって居住者のプライバシーをも保護できると考えられる。

・ シナリオ 1 : 高齢者が一人暮らす場合

この場合、これまで得られた成果をそのままでも利用できるが、センサーマトリックスを利用することによって、2次元行動強度分布地図 (ASDM: Activity Strength Distribution Map) を作ることができる。各 ASDM フレームのパターンとその変化を利用することによって、高齢者の居場所、行動の方向性なども推測可能となる。これに基づいて、高齢者がどこで、どの時間帯で、通常何をしているかを、推定することができる。逆に、特定の場所や時間帯で、期待した行動が検出されない場合、異常発生の可能性があり、(自動的に) 助けを呼ぶ必要がある。

・ シナリオ 2 : 高齢者夫婦と一緒に暮らす場合

この場合も、ASDM を利用することによって、だれが、どこに、何をしているかを、推定することが可能である。これに基づいて高齢者夫婦が正常に暮らしているかを、常に観察し、必要に応じて補助することができる。

3. 研究の方法

以下は、本研究の基本的手法である。

ステップ 1 : センサーマトリックスから得られた生のデータを元に、マトリックスよりも解像度が高い (床の面積に合わせた) 2次元行動強度分布地図 (ASDM) を算出する。この問題は一種の最適化問題である。例えば、図 3 のように、センサーで測った行動強度 (AS: activity strength) は $A[i,j]$ ($i,j = 1,2, \dots, n$, ただし、 $n \times n$ はマトリックスのサイズである) で、その真下にある床の点 (x,y) は人が居る座標と仮定すると、連立方程式

$$A[i,j] = A_0 G(x,y,i,j), \quad i,j = 1,2, \dots, n \quad (2)$$

が成立する。これを解くことによって、 (x,y) 及びその行動強度 A_0 が求められる。関数 $G(\)$ は、人を「点状」の赤外線光源と見なしたときの点拡がり関数 (PSF: point spread function) であり、通常は非線形 (例えば距離の 2 乗に反比例) であるので、従来の方法で連立方程式を解くよりも、進化的アルゴリズムを用いて解決したほうが良いと思われる。

ステップ 2 : ASDM を算出した後、その中に含まれている人の居場所のヒントとなるクリティカルポイント (CP) を検出する。一人しか居なければ、CP も一つしかないはずである。この CP の座標は人の居場所であるが、その行動強度を用いれば、人の行動パターンを推測できる。しかし、これだけでは、高い精度で推測できないので、本研究でわれわれは、複数回の観測で得られる ASDM を利用して、CP の軌跡と、各時点での速度、移動方向などを算出し、これらの情報を利用して、行動パターンをより正確に認識したい。

最初は、同じ動作を繰り返すことによって、 A_0 を固定した。居場所の座標 (x,y) を与え、各センサーの出力を測定した。そして、測定したセンサー出力をニューラルネットワーク、決定木などの機械学習モデルに入力して、 (x,y) を逆算した。機械学習モデルは、複数の〈センサー出力、座標〉ペアで訓練する。実験の再現性を向上するために、実験において、指定した位置の「認識問題」を考えた。結果としてわかったのは、ASDM を作らなくても、高い精度で居住者の居場所

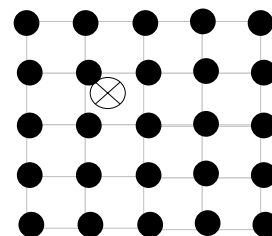


図 3 : センサーマトリックスと光源



図 4 : ZigBee 人感センサー



図 5 : Arduino 互換 USB センサーモジュール

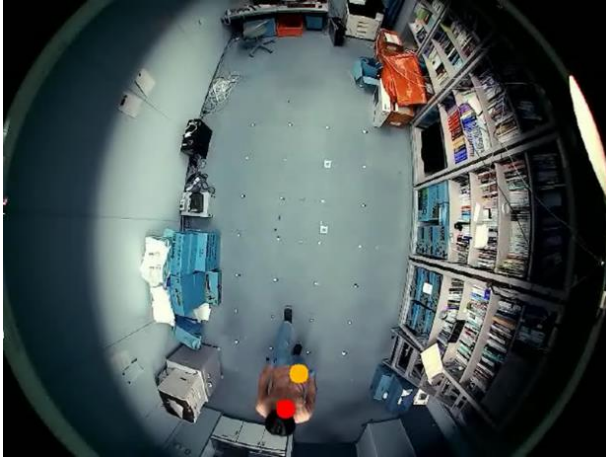


図 6: Video-based data collection

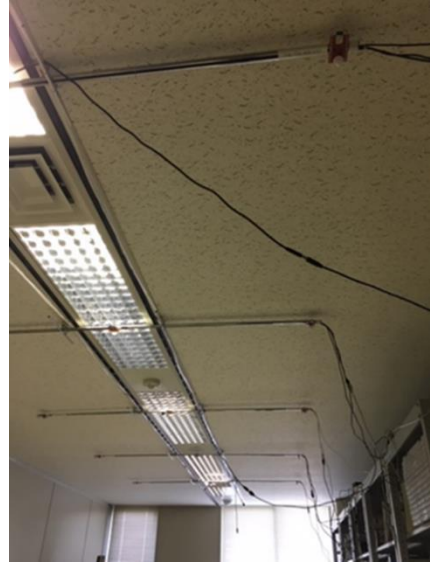


図 7: Sensor matrix used up to 2018

を認識することができる (CYBCONF2017, SMC2018)。表 1 は、一部の実験結果を示す。表において、MLP は多層パーセプトロン、MAP は最大事後確率法である。認識対象は、床の中心部に近い、0.5 メータ離れた 15 カ所である。表からわかるように、人がある場所に 1 秒以上いれば、センサーマトリックスの情報だけでもほぼ確実にその位置を特定することができる。

表 1: Recognition rate for location recognition

Window size	MLP	MAP
1	0.80188	0.79211
60	0.99614	0.99243
120	0.99940	0.99786
180	0.99999	0.99921
240	0.99997	0.99882
300	0.99999	0.99861
360	0.99999	0.99819

表 2: Recognition rate for activity strength recognition

Window size	MLP	MAP
1	0.45591	0.33998
60	0.79229	0.61024
120	0.90496	0.72256
180	0.95420	0.79701
240	0.97337	0.82819
300	0.97905	0.85348
360	0.98894	0.87954

なお、初年度の実験において、バッテリー駆動、無線通信ができる ZigBee センサー (図 4) を使用した。この種のセンサーは、データロスの問題があり、常時型見守りシステムに不向きではないかと思われる。2 年度以降は、われわれが設計した Arduino 互換センサーモジュール (図 5) を 3x5 個利用した。この新しいモジュールは、USB を通して電気を供給するだけでなく、データも有線の形でパソコンにシームレスに伝送することができる。さらに、ZigBee センサーに比べて、データレートが 0.1/s から 60/s に高速化された。

特定の動作 (本実験では拍手) を、異なる速さでデータを収集することによって、 A_0 を可変にすることができる。この場合も、センサーの出力を機械学習モデルに入力すると、居住者の居場所だけではなく、その「動作強度」をも同時に認識することができる (iCAST2018)。表 2 は、一部の結果を示す。認識対象は、同じ動作を繰り返すときの「速さ」である。実験において速さは 4 レベル、即ち、非常に速い、速い、普通、遅いである。この表からわかるように、同じ場所で、同じ行動を 2 秒以上すれば、非常に高い精度に認識できる。

しかし、動作強度がわかったとしても、動作自体の認識はまだできない。実際、 A_0 に影響を与える要因はたくさんある。例えば、人の向き、皮膚の露出度、高さ、などがある。したがって、 A_0 を推測したとしても、その裏にある要因を特定することが非常に困難である。これは残された課題の一つである。

上記の問題を解決するためには、さまざまな要因に対して、大量の学習データを集める必要がある。しかし、実験条件を記録しながらデータを収集するには非常に手間がかかる作業である。そこで、われわれはビデオに基づくデータ収集法について検討した (図 6)。理想的には、ビデオ画像を利用して、各種の実験条件を自動的に認識し、それをセンサーデータのラベルにしたいの

だが、研究期間中では、居場所の座標、動作の速さなどの認識に限られた (ISCI2018)。

センサーマトリックスは、基本的に天井いっぱいに取り付く必要がある (図 7)。このような構成は、ユーザに受けにくい。だれでも、センサーがいっぱいぶら下がっている部屋の中で暮らしたくないのではないと思われる。この問題を解決するためには、複数のセンサーを組み合わせ、コンパクトなモジュールを設計し、試作した。この新しいモジュールを一つだけでも、4x4 平方メートルの部屋を 19 個の領域に分割するこ

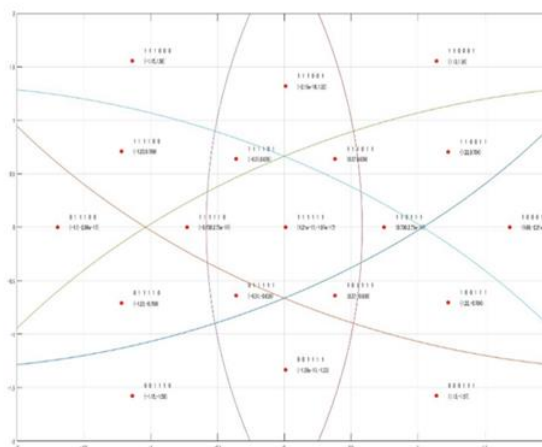


図 8: Regions partitioned by a 6-sensor module

とができる (図 8)。通常の日本式居間の場合 (4x8 平米) は、2 つのモジュールを天井に付ければ人の動きをおおよそ把握できる。当然、センサーの出力を機械学習モデルに入力すれば、より正確に人に居場所や行動を特定することができる (これから発表する予定なので、ここで詳細を省く)。

4. 研究成果

前節に述べたように、本研究は、以下の成果があった。

- 1) センサーマトリックスを利用して居住者の位置や行動強度を認識できることを確認した。また、正確に認識するための機械学習手法を提案した。
- 2) 大量の学習データを効率よく収集するために、ビデオに基づく自動ラベリング技術を提案し、実時間行動認識の実験を行った。
- 3) センサーマトリックスのユーザビリティを向上するために、コンパクトなセンサーモジュールを提案し、試作した (出願済み)。今後、試作作業を完成し、商品化していきたい。

5. 主な発表論文等

- [1] Ryo Ota, Shoichi Ichimura, and Qiangfu Zhao, "Active Human Location Estimation by Analyzing an Infrared Sensor Array Data," Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018), Miyazaki, 2018.
- [2] Shoichi Ichimura, Ryo Ota, and Qiangfu ZHAO, "Recognition of Activity Strengths Using an Array of Binary Infrared Sensors for Privacy-Preserving Smart Home," Proceedings of IEEE International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST2018), Fukuoka, 2018.
- [3] Tatsuya Hanyu and Qiangfu ZHAO, "Automatic Labelling of Sensor Data Based on Object Tracking and Recognition," International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (ISCI2018), Toyama, 2018.
- [4] Qiangfu Zhao, Yuichi Okuyama, "Sensing system equipped with multiple motion sensors and method for location estimation", **Japan Patent**, Tokugan-2019-060649.
- [5] Qiangfu Zhao, Chia-Ming Tsai, Rung-Ching Chen, and Chung-Yi Huang, "Resident activity recognition based on binary infrared sensors and soft computing," **International Journal on Machine Learning and Cybernetics**, DOI 10.1007/s13042-017-0714-4, Aug. 11, 2017.
- [6] Yuta Kobiyama; Qiangfu Zhao; Ryo Ota; Shoichi Ichimura, "Recognition of Frequently Appeared Locations/Activities Based on Infrared Sensor Array," 3rd IEEE International Conference on Cybernetics (CYBCONF 2017), 2017.
- [7] Yuta Kobiyama; Qiangfu Zhao; Kazuki Omomo, "Privacy preserving infrared sensor array based indoor location awareness," Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2016), pp. 1353-1358, 2016.
- [8] Yuta Kobiyama, Qiangfu Zhao, and Kazuki Omomo, "Location awareness based on infrared sensor array," Proceedings of International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), pp. 899-904, 2016.

〔雑誌論文〕（計 1 件）

〔学会発表〕（計 6 件）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1 件）

名称：モーションセンサを搭載したセンサー装置及び位置推定方法

発明者：趙 強福、奥山 祐市

権利者：公立大学法人会津大学

種類：特許

番号：特願 2019-60649

出願年：2019

国内外の別：国内

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。