

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2017

課題番号：25700026

研究課題名(和文) センサベース行動パターン解析に基づく生活機能スコアの統計的予測

研究課題名(英文) Health score prediction from sensor based behavior pattern analysis

研究代表者

下坂 正倫 (Shimosaka, Masamichi)

東京工業大学・情報理工学院・准教授

研究者番号：40431796

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,000,000円

研究成果の概要(和文)：高齢期の健康維持には、自立生活に必要な能力「生活機能」の定量的把握と、機能低下の早期発見が必要である。現状、生活機能はアンケートを用いた調査により得られるが、適切なタイミングで調査が行われているとは言いがたい。一方、生活行動をモニタリングすることで、当事者にとって予期せぬ生活機能の低下を事前に検出しようという期待が高まりつつある。本研究課題では、日常行動パターンと生活機能との関連性の解明に貢献しうる技術として、IoT技術を活用し定量的な行動データを収集するIT基盤技術の実現と、その技術を用いた高齢者を被験者とする実フィールド調査の実施、また、詳細行動データに対する統計的分析手法の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：The scores of health state for elderly people are needed as the expression of the change of patient state or as information for medical decision-making. The health assessment for elderly people is surveyed by questionnaires; however, the execution rate is still low due to the cost of the surveys. It is prominent if capturing the behavior of elderly people continuously and pervasively is realized to understand one's health condition. However, no technologies on capturing one's behavior precisely and continuously are established. In this research, we developed a unified methodology towards quantitative and automatic assessment of elderly people via innovative IoT technology. In the project, we developed automated system for behavior sensing and its recognition techniques (e.g. indoor localization from wireless signals), feasibility study with subjects of elderly people, and robust statistical techniques for the issue of health score prediction from the behavior data.

研究分野：実世界情報処理

キーワード：実世界情報処理 行動センシング 統計的行動情報処理 機械学習 センサシステム

1. 研究開始当初の背景

高齢期の健康維持には、自立生活に必要な能力「生活機能」の定量的把握と、機能低下の早期発見が必要である。現状、生活機能はアンケートを用いた調査によって得られるものであり、調査の負担や高齢者自身の健康への意識の問題から、適切なタイミングで調査が行われているとは言いがたい。

一方、生活機能低下と生活行動パターンとの関連性を調査するフィールド研究によって、健康を維持するための日常生活習慣とは何か、が徐々に明らかになりつつある。高齢者の健康意識を高める効果的なメッセージを発することが可能となるのは勿論のこと、生活行動をモニタリングすることで、当事者にとって予期せぬ生活機能の低下を事前に予防できる期待が高まりつつある。

しかしながら、調査対象にある生活習慣それ自体もアンケートで得るために、調査で問える生活習慣は極めて限られる。また、生活機能に関連性のある生活習慣について仮説を立てた上で調査を行う必要があり、その労力に見合った知見がなかなか得にくい問題がある。事前に調査時の高齢者の負担や記憶を考えれば当然であるが、詳細な行動パターンと生活機能との関連性を明らかにすることは、予防医学上極めて重要であることは言うまでもない。しかしながらこれらフィールド医学研究を支援する、詳細かつ定量的な行動データを収集する IT 基盤技術が確立されておらず、長期的な実フィールド調査の実現それ自体が困難な状況といえる。また、詳細に取得した行動データそれ自体が存在しないがために、この種のデータにふさわしい統計的分析技術が確立していない。

2. 研究の目的

上述の背景を踏まえ、本研究課題の目的は以下の3点に要約される。1) 詳細な行動パターンと生活機能との関連性調査を具現化する、詳細行動データを収集するための情報基盤技術の構築、2) さらに高齢者を対象とした実フィールド研究を行いデータ収集基盤技術のフィージビリティ評価の実施、3) また、取得したデータに対する統計的分析技術を構築、である。

3. 研究の方法

上記の研究の目的を踏まえ、以上の目的・方法に沿って、平成25年度から平成29年度の5年間、(当初予定では平成28年度までの4年間)、以下の指針で研究を進めた。

3.1 行動センシングシステム・認識技術の開発

本研究では、研究代表者が本研究課題以前

より取り組んできた、スマートホームにおけるセンシング技術を基盤に、実フィールドでのデータ収集を念頭に置いた行動データ収集技術を開発する。

研究代表者が従前に開発してきたデータ収集技術は、いわば先端的な技術を追求し行動の詳細な把握に特化したものである一方で、実フィールドに向けたものとは乖離していた。この状況を踏まえ、従前のシステムで得られた行動の粒度を可能な限り維持しつつ、実フィールド導入可能な制約を考慮したシステム開発を行なった。

研究開始年度には一般的ではなかったもののその後普及が進み始めた Bluetooth Low Energy (BLE) ビーコンを用いた屋内測位を取り入れるなど、数世代にわたりデータ収集システムを開発・改善を進めていった。その際、行動センシングシステムを導入した高齢者にかかる負担の軽減と得られる行動センシングデータの粒度の細やかさの双方を追求し開発を進めていった。

センサデータに何らかの変換を施し、人が把握可能な形に変換する、いわば行動認識技術も並行して進めることとした。例えば屋内で取得できる無線電波状況から高齢者の屋内における滞在場所を推定するといった技術が不可欠である。センサデータそれ自体では生活機能との関連性の調査には直接利用しにくいことを踏まえたものである。5カ年にわたる研究期間では、下記のフィールド評価で得たフィードバックをもとに、認識技術についても改善、つまり数世代にわたりシステムを開発するアプローチをとった。

3.2 フィージビリティ評価

開発したデータ収集技術(センシングシステム)それ自体のフィージビリティ評価として、大学研究機関外の一般家屋に導入しデータ収集能力評価を実施した。さらに開発したシステムを用いて実際の高齢被験者を募集しデータ収集を行い、高齢者のデータと生活機能の関連性を評価した。

なお、学外におけるデータ収集においては、被験者のプライバシー・安全性を配慮し、所属研究機関内の倫理審査委員会の審議を経て調査を実施した。

3.3 得られたデータの統計的分析

得られた行動データならびに並行して得られた生活機能調査のデータとの関連性の統計分析を実施した。

本研究開始以前は多数の高齢被験者を対象として、長期の実フィールド評価ならびに医学的知識の創出も視野に入れ研究構想を練っていたが、研究を進める上で、実フィールドでのデータ収集基盤技術が不足していることを痛感した。従って、この分析技術の開発については、スパース学習といった近年発展著しい統計的データ解析技術を積極的に導入する一方、本研究課題においては、

データ収集基盤ならびに事後のデータ分析に不可欠な認識技術の構築を主眼に、研究を進めることとした。

4. 研究成果

4.1 平成25年度中の成果

研究代表者が本研究課題以前から取得してきた焦電センサの行動パターン情報を利用し、データ収集システムに必要な仕様ならびに統計解析技術に必要な要素の洗い出しを行った。また研究期間後半の実証実験に備え、行動をセンシングするシステムの試作から着手した。

前者については、生活機能の評価指標を下記センサシステム等で得られる活動データから変換される特徴量に基づく線形回帰として定式化した。この定式化の他、生活機能アンケートに対する回答を多値分類問題として扱い、それらの和を結果として予測する枠組みを提案した。先に研究者が入手した高齢者活動データに2つの手法を適用し、有効性を検証した。

後者であるセンサシステム試作としては、居住内に設置する焦電・電流センサ等による活動量データと、スマート携帯端末を活用した測位・生理量・運動量計測情報を統合し蓄積するデータストレージソフトウェアの開発を進めた。独自に開発する家庭内設置センサとして、設置の容易さに注目したデバイスを開発した。

このセンサシステムは1)センサノード：温度、湿度、照度、動き(焦電)を計測する機能に加え、無線通信機能として ZigBee チップを内包、2)中継ノード：組み込み Linux によりセンサノードのデータを収集し、ゲートウェイセンサにデータを送付、3)ゲートウェイセンサ：組み込み Linux によりクラウド環境にデータを送付、から構成される。1)のセンサノードは天井に1メートル間隔に設置するものである。設置の際の煩わしさを軽減するため、各センサノードを数珠つなぎ可能な仕組みを導入した。

従来我々が開発してきた焦電センサベースのシステムでは、複数人の動きに対する対象者(高齢者)の同定が課題となっていたが、ZigBee から得られる無線電波強度を併用することで、ZigBee が搭載されたウェアラブル端末を対象者に身につけ、センサノードで得るウェアラブル端末から発信された電波の受信電波強度を取得することで、複数人存在した場合でも対象者位置を1m未満の誤差での追跡可能であることを確認した。米国における先行研究(An RF Doormat for Tracking People's Room Locations, Ubicomp2013)では、ドアの開閉部に測距センサを導入し、人の同定を行うものであったが、部屋内部での位置精度の保証がなされず、特に時間とともに

に同定精度が低下することが問題であった。本研究ではこのような先行研究の課題を解消する点で優位性がある。本研究で開発したセンサシステムを一般家庭に導入・設置し、設置における問題点やシステムの制作における問題点の洗い出しを行った。

また、位置のみならず人の姿勢や細かい動きを計測する枠組みとして PCB 基板から構成される薄型の圧力分布センサの開発や、焦電センサよりも広範囲に位置計測を実現する枠組みとしてサーモパイルセンサを用いた人位置推定システムを開発し、国内会議に成果を発表した。こちらの人位置推定では、従来の人を検出し数え上げる、いわば counting by detection アプローチとは異なり、人が存在する確率を平面毎に見積もる、分布推定アルゴリズムとなっている。この分布推定アルゴリズムは線形の回帰法を導入しており、生活機能スコアと同様の機械学習アルゴリズムにより最適化がなされるものである。このアルゴリズムにより、比較的低解像度な熱画像であるサーモパイルに対しても混雑環境下での人数の数え上げが頑健に機能することが確認された。

4.2 平成26年度中の成果

平成25年度に開発した統計的予測手法を発展させるとともに、同じく前年度開発したセンサシステムについても改良を進めた。

本研究課題の目的は、住宅内に設置したセンサとスマート携帯端末等で得られるセンサ情報をもとに、生活機能スコアの統計的予測モデルを構築することであった。

平成25年度に開発したシステムのうち、当初予定していた焦電センサによる動き計測を差し替え、無線通信技術(ZigBee, Bluetooth Low Energy)を活用した屋内測位法を開発した。焦電センサを用いた場合、対象とする高齢者が独居であることを前提としたモデリングが避けられず、一方、現実の高齢者の生活は必ずしも独居ではないことから、BLE ビーコンや時計型スマート端末の登場により個人識別可能な形で屋内での行動をモニタリング可能な技術が現実味を帯びてきたためである。

このとき、高齢者家庭への導入時の設置センサ数をいかに抑制するかが課題となる。センサ配置によっては測位品質が大きく低下するため、貪欲探索に基づくセンサ配置最適化アルゴリズムを提案しその有効性を検証した。また、複数の高齢者が同居する施設での導入を想定し、昨年度開発した低解像度熱画像に基づく人位置推定アルゴリズムを改良した。

設置時のセンサの配置の制約を軽減するものであり、導入の負荷低減が可能になった。また高齢者の活動状況を取得するためのスマートフォンを用いた行動計測ソフトウェアも開発した。平成25年度に開発した独自仕様のセンサで構成された計測システムと

比べ、取得情報の品質を大きく落とさず導入コストを抑えることに成功した。

またセンサデータの解析手法についての成果を述べる。従来取り組んできた階層ベイズ法に基づく多タスク学習による活動データのパターン抽出法の問題点を解消する、双線形回帰法を提案し、パターン変化をもたらす外的情報の明示的な埋め込みが可能となった。検証の結果、パターン抽出精度で大幅な性能向上を達成した。

行動データの解析のみならず行動データを効率よく効果的に取得するため、被験者のインセンティブ制御の手法も開発した。本研究課題においては高齢者の善意・協力なしにはフィールド評価は困難であり、また本研究課題を社会実装する際にもデータを収集される被験者（ユーザ）の動機付けは重要であるため、実施した。この成果は当該のトップカンファレンス UbiComp2014 にて発表され、2018年6月現在62本引用がなされており、注目度の高い成果といえる（Google Scholar提供）。

4.3 平成27年度中の成果

平成26年度までに開発した技術を基盤に行動センシングシステムの精緻化に努め、以下の成果を創出した。無線通信技術（BLE: Bluetooth Low Energy）に基づく屋内測位の性能検証として、平成26年度に提案した貪欲探索に基づくセンサ配置最適化アルゴリズムの検証を進め、国際雑誌 Advanced Robotics 上で成果を発表した。

従来、システム導入者の経験と勘に頼っていた無線センサの設置位置を、自動的に設置位置を最適化するものであり、さらに設置数と測位性能のトレードオフカーブを効率的に算出する。論文では ZigBee を用いて評価したが、BLE でも同様の傾向を示すことが予想され、低コストに実フィールド実験の実施が可能となることが期待される。

行動センシングシステムならびに行動認識技術の開発とともに、屋内測位と並行してモバイル端末の標準的な API を通じて計測できる行動センシングとして、例えば GPS や加速度、地磁気センサなどの情報を記録するシステムのフィージブルスタディを実施した。

具体的には10名程度の被験者を1ヶ月程度雇用し実験データの取得を行った。さらに年度終盤にかけ、複数人居住の高齢者数名を対象としたフィージブルスタディに向けた準備を行った。

4.4 平成28年度中の成果

年度前半にフィージブルスタディとして数名の、年度後半に10名以上の高齢者の生活行動データを取得した。スマートフォンにて加速度、GPS、スマートウォッチにて無線受信電波強度（BLE プロトコル）の取得、並行

してアンケートベースと観察による生活機能調査データを取得している。

生活機能と典型的な行動パターンに関して簡易的な解析を実施した。このような詳細な行動のデータ化とともに生活機能を並行して取得した事例は前例がない一方で、被験者へのアンケートから、このシステムが日常生活を阻害することなく、少ない負担でデータ収集が可能であることを確認した。

行動センシングシステム由来の統計的アルゴリズムに関する成果としては、無線通信技術に基づく屋内測位に必要なデータ収集に関連する課題に取り組んだ。具体的には、このシステムでは被験者居住環境にて運用前にフィンガープリント（受信電波強度情報と位置ラベルの対）データの収集が必要である。モニタリング環境へのビーコン設置から稼働までの時間が短いことが望ましい。

この問題の部分的な解決として、「効率的データ収集」とよぶ、収集データサイズと測位性能のトレードオフカーブを改善する統計的アルゴリズムを構築した。データ取得あたりの性能向上の期待値を予測することで収集すべき場所を教示するアルゴリズムである。性能向上を正しくモデル化することが困難であるため、予測値の出力にベイズ最適化を利用している。この成果を当該分野トップ会議である UbiComp2016 にて発表した。ベイズ最適化は近年発展著しい研究領域の1つであるが、我々の知る限り、屋内測位に関して新たな応用範囲を示した世界初の成果である。

4.5 平成29年度中の成果

平成29年度は、これまでに得たデータの分析を進めると共に、分析の基盤として、スマート携帯端末、特に位置情報に基づくデータを用いた行動のモデリング技術、ならびに、研究課題を通じて浮き彫りになったスマート携帯端末でのセンシング技術の課題を解消する手法を開発し、行動データ取得技術の信頼性向上を図った。

平成28年度までは屋内行動の認識に注力して開発を進めてきたが、認識の対象、行動データの抽象化の対象を屋外まで拡張した。在宅・非在宅のみの行動パターンだけではなく、高齢者がどのような行動パターンをとるのか、大量の GPS から抽象化する技術が不可欠である。具体的には、位置情報の軌道データと曜日・時間帯に基づいて居住地・頻出する外出先といった行き先を推定する枠組みを構築した。曜日・時間帯に応じて事前に推定した目的地の推定結果を、時々刻々と入力される軌道情報から、結果を早期に修正をし信頼度を高める枠組である。この成果は当該分野の主たる学術誌である Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies (ACM IMWUT) に掲載され、当該分野のトップ会議である

UbiComp2018にて発表予定である。

スマート携帯端末でのセンシング技術として、無線電波強度に基づく屋内測位に関する研究を推し進めた。屋内測位性能の機種依存性の解消を目標としている。これは端末毎に異なる無線電波受信アンテナの特性の差異により生ずるものであり、従前の枠組みでは、運用機種に合わせたデータ収集を行うか、ドメイン適応、追加学習といった学習アルゴリズムを用いる他、解決が難しかった。

本研究では、楕円周特徴と呼ぶ新たな特徴量を用いた測位手法を開発し、追加コストを一切かけることなく機種非依存な性能を担保することを示した。この成果を ACM IMMUT (UbiComp2017)にて発表した。図1は、提案する手法の頑健性を示す結果であり既存手法に対して高い測位性能ならびに機種依存性を解消していることが確認できる。

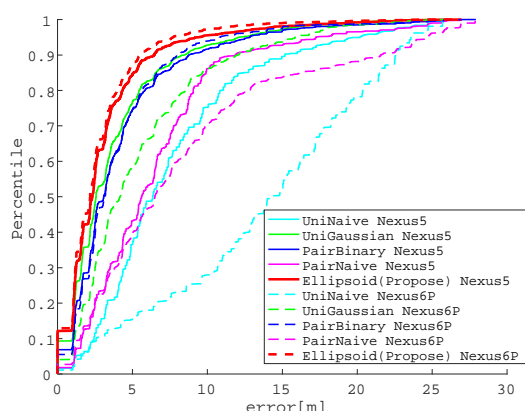


図1 機種依存性を解消する屋内測位性能

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

下坂 正倫. 人間行動センシングデータに基づく生活リズム解析. 計測と制御, Vol. 53, No. 7, pp. 611--616, 7 2014.

Masamichi Shimosaka, Osamu Saisho, Takuya Sunakawa, Hidenori Koyasu, Keisuke Maeda, Ryoma Kawajiri. ZigBee Based Wireless Indoor Localization With Sensor Placement Optimization Towards Practical Home Sensing. Advanced Robotics, Vol. 30, No. 5, pp. 315--325, February 2016.

Masato Sugasaki, Masamichi Shimosaka. Robust indoor localization across smartphone models with ellipsoid features from multiple RSSIs. Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, Vol. 1, No. 3, pp. 103:1--103:16, 2017.

Ryo Imai, Kota Tsubouchi, Tatsuya Konishi, Masamichi Shimosaka. Early

Destination Prediction with Spatio-temporal User Behavior Patterns. Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, Vol. 1, No. 4, pp. 142:1--142:19, 2017.

[学会発表](計12件,うち2件は査読付き国際会議にて発表,3件は国内会議にて受賞)

Ryoma Kawajiri, Masamichi Shimosaka, Hisashi Kashima. Steered Crowdsensing: Incentive Design Towards Quality-oriented Place-centric Crowdsensing. In Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp 2014), pp. 691--701, Seattle, Washington, 9 2014.

Masamichi Shimosaka, Osamu Saisho. Efficient Calibration for RSSI-based Indoor Localization by Bayesian Experimental Design on Multi-task Classification. In Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp2016), pp. 244--249, Heidelberg, Germany, 9 2016.

下坂 正倫, 子安 秀昇, 荻原 正紀, 砂川 拓哉, 小田嶋 成幸, 福井 類, 佐藤 知正. 赤外線センサアレイを用いた線形回帰に基づく屋内人数分布推定システムの研究. 第14回公益社団法人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, pp. 1835--1837, 兵庫県神戸市, 12 2013.

下坂 正倫, 砂川 拓哉, 福井 類. 薄型・安価な圧力分布センサ実現のための高分解能な感圧スイッチアレイ構造の試作. 第14回公益社団法人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, pp. 1803--1806, 兵庫県神戸市, 12 2013.

下坂 正倫, 守谷 祐一, 福井 類, 佐藤 知正. 時系列データの変化点検出と分節区間の共有によるノンパラメトリック人体運動モデリング. 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2013 講演論文集, pp. 4--6, 滋賀県大津市, 11 2013.

下坂 正倫, 税所 修, 砂川 拓哉, 子安 秀昇, 前田 啓輔, 川尻 亮真. 少数 ZigBee 端末の受信電波強度情報を用いた住居内人位置推定. 第32回日本ロボット学会学術講演会 予稿集 DVD-ROM, 福岡県福岡市, 9 2014.

前田 啓輔, 下坂 正倫, 坪内 孝太. 低ランク双線形モデルによる活動イベン

ト発生密度推定. 電子情報通信学会 技術研究報告 (IBISML2014-84), pp. 365--371, 愛知県, 名古屋市, 11 2014.
下坂 正倫, 子安 秀昇, 税所 修, 川尻 亮真. 空間構造正則化と多タスク回帰に基づく赤外線センサレイ人密度分布推定. 第 15 回公益社団法人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, pp. 538--541, 東京都江東区, 12 2014.

小西 達也, 下坂 正倫. 滞在時間帯と経路情報を用いた混合最大エントロピー逆強化学習に基づく早期目的地予測. 情報処理学会研究報告 第 78 回 MBL・第 49 回 UBI 合同研究発表会, 東京都新宿区, 2 2016. **(UBI 研究会第 49 回研究発表会 学生奨励賞)**

下坂 正倫, 渡辺 康平, 税所 修, 秋元 啓, 小西 達也, 築地 毅. スマートウォッチ端末と電力センサを用いた複数居住者屋内行動認識. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 講演論文集 DVD, 神奈川県横浜市, 6 2016.

須ヶ崎 聖人, 下坂 正倫. 複数受信電波強度に基づく楕円周特徴量を用いた機種依存性の低い高精度屋内測位. 情報処理学会研究報告 第 82 回 MBL・第 53 回 UBI 合同研究発表会, 東京都文京区, 3 2017. **(MBL 研究会第 82 回研究発表会 優秀発表賞)**

今井 遼, 坪内 孝太, 小西 達也, 下坂 正倫. 大規模ユーザの時空間滞在・経路パターンに基づく早期目的地予測. 情報処理学会研究報告 第 58 回 UBI 合同研究発表会, 東京都千代田区, 5 2018. **(UBI 研究会第 58 回研究発表会 学生奨励賞)**

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.miubiq.cs.titech.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下坂 正倫 (SHIMOSAKA, Masamichi)

東京工業大学・情報理工学院・准教授

研究者番号: 4 0 4 3 1 7 9 6