

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：14603

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00126

研究課題名(和文) BLEとエネルギーハーベストセンサを用いた行動認識システムの開発とその応用

研究課題名(英文) Development of a Activity Recognition System Using BLE and Energy Harvest Sensors and Its Applications

研究代表者

藤本 まなと (Fujimoto, Manato)

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教

研究者番号：80758516

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、周辺機器が常時発信しているBLE信号を、環境側に設置したBLEスキャナで受信することにより、家や介護施設等の屋内環境で生活する居住者の行動を容易に認識可能な行動認識システムを実現することである。4年間のプロジェクトにおいて、次の成果をあげた。(1) BLEデバイスとエネルギーハーベスト環境センサを効果的に組み合わせることで、低コストかつプライバシーに配慮した拘束感の少ない行動認識システムを実現した。(2) 実用化に向け奈良県生駒市にある介護施設において、本システムを用いた評価実験を行った。結果、平均F値：80.6%の精度で行動認識できることを確認し、提案システムの有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、より細かなサービスの提供を目指して、屋内の人のコンテキスト、行動を知りたいという欲求が高まっており、様々な研究機関が行動認識の研究を行ってきたが、コストやプライバシーの観点から、普及に至っていない。本研究の成果は、従来の行動認識システムとは異なり、居住者に拘束感や不安感を感じさせず、極めて単純な方法で人の行動を認識できることである。本システムは、低コストかつプライバシーに配慮したシステムであるため、普及が促進されることが予想されるとともに、高齢者見守りや知的コンシェルジュ、健康支援システム等の次世代コンテキストウェアシステムへと繋がる成果となり学術的・社会的意義は大きいものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research is to implement a new activity recognition system that is able to easily recognize the activity of resident lived in indoor environments such as a home and a nursing home by receiving the BLE signal that is constantly transmitted from surrounding devices with the BLE scanner installed on the environment side. The research has obtained the following results by four years project. (1) We realized the activity recognition system that has various characteristics such as low-cost, low privacy, and low burden, by effectively combining BLE devices with an energy harvesting environmental sensor. (2) We have conducted the evaluation experiments using our proposed system at an actual nursing home in Ikoma City, Nara, Japan. As a result, we confirmed that the F-measure was 80.6% and the effectiveness of our proposed system.

研究分野：ユビキタスコンピューティング、情報ネットワーク

キーワード：Bluetooth Low Energy エネルギーハーベスト環境センサ 行動認識 機械学習

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、スマートフォンをはじめとする様々なセンシングデバイス、IoT (Internet of Things) に対応した家電などが急速に普及している。これに伴い、家庭内においても温度、湿度、照度などの環境情報だけではなく、個々のデバイスの使用状況や居住者の行動を認識するための研究開発が、国内外で盛んに行われている。宅内における居住者の行動をリアルタイムに自動認識できれば、高齢者見守りシステムや知的コンシェルジュサービス、健康支援システムなどの次世代コンテキストウェアサービスへの応用が期待できる。従って、効果的なコンテキストウェアサービスを実現するには、宅内における居住者の行動認識技術の確立が極めて重要となる。しかし、従来の既存手法は、ユーザのプライバシーを侵害するという問題(問題1)、導入コストや維持コストが非常に高く、普及の観点から現実的ではない(問題2)、複数人の行動ログを切り分けて認識するメカニズムは構築されていない(問題3)、煩わしい作業が必要であるため拘束感があり負担が大きい(問題4)といった多くの問題が残されている。そのため、本研究では、上記の問題1~4の全てを解決することを目的とし、Bluetooth Low Energy (BLE) デバイスとエネルギーハーベスト環境センサ(以下、無電環境センサ)を効果的に組み合わせた、低コストかつプライバシーに配慮した、拘束感の少ない新たな行動認識システムを考案し、本研究の実現可能性を検証したいと考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、低コストかつプライバシーに配慮した、拘束感の少ない新たな行動認識システムの考案・実現・評価を行うことである。本研究では、BLE デバイスと無電環境センサを効果的に組み合わせることで、宅内における居住者の行動を容易に認識できるかどうかを明らかにする。また、複数人の行動ログを切り分ける新たなメカニズムを構築すると共に、その行動ログから個々の行動パターンを抽出・モデル化する機構を確立することで、知的コンシェルジュサービスをはじめとする様々な次世代コンテキストウェアシステム実現への足がかりを作る。

3. 研究の方法

本研究は、BLE デバイスと無電環境センサを組み合わせた、新たな行動認識システムの実装・分析・評価までを一貫して行う。まず初めに、設置型 BLE スキャナを開発し、課題1) BLE 信号の計測による個人識別・領域判定メカニズムの構築を実現する。次に、構築したメカニズムを土台とし、課題2) 無電環境センサ群による領域移動軌跡抽出方式と課題3) 複数人の行動ログの切り分けメカニズムを確立することで、課題4) 行動パターンの抽出とモデル化へと発展させる。その後、課題5) BLE スキャナを含む環境センサの最小化を行い、最後は、全ての課題を統合し実験を行うことで、本研究の学術的価値及び社会的価値を強く証明していく。

4. 研究成果

平成28年度は、課題1) BLE 信号の計測による個人識別・領域判定メカニズムの構築について実施し、以下の3点について成果をあげた。(1) ユーザが保持している BLE デバイスから間欠的に発信される固有 ID (UUID) 及び受信信号強度値 (RSSI) 等を含む BLE 信号を環境側に設置した独自開発した BLE スキャナにおいて受信することで、「いつ(時間)」、「どこで(場所・空間)」、「誰が居るのか(人物)」を認識できるメカニズムの考案・構築を行った。具体的には、「いつ」はタイムスタンプ、「どこで」は受信信号強度値 (RSSI) のある閾値以上の中から最も高い値を見ることで判定でき、「誰が」は固有 ID で判別している。(2) 小型の加速度計内蔵 BLE ビーコンの開発を行った。開発した BLE ビーコンは、BLE nano、マイクロコンピュータ、加速度センサ、バッテリーで構成されており、固有 ID、RSSI、動作状況(立つ・座る・歩く)の各情報を BLE 信号に乗せて送信できる。(3) BLE スキャナを開発を行った。課題1) を遂行するには、スキャナを環境側に設置する必要があるため、設置型の BLE スキャナを作成した。本スキャナは、受信した BLE 信号のデータを蓄積及びデータベースへと送信する機能を有している必要があるため、安価にこれらの機能を実装する事ができる、Raspberry Pi 2 を用いて開発した。具体的には、Raspberry Pi 2 には、BLE モジュールと無線 LAN アダプタを取り付け、ソフトウェアは Node.js + BLE Beacon で実装した。

平成29年度は、課題1) BLE 信号の計測による個人識別・領域判定メカニズムの構築を土台とし、課題2) 無電環境センサ群による領域移動軌跡抽出方式、課題3) 複数人の行動ログの切り分けメカニズムについて検討し、以下の2点について成果をあげた。(1) 領域判定の精度を向上させるには、特徴量として用いる BLE 信号の RSSI の情報が重要となる。しかしながら、BLE 信号は非常に微弱な電波なため、比較的データの欠損が起こりやすい。単純に各 BLE スキャナで受信した RSSI データをそのまま特徴量として用いて領域判定を行なった場合、判定精度の低下につながるおそれがある。そのため、この問題を解決するためのデータ処理手法をあらたに考案した。(2) 本システムにより、複数人の行動ログを切り分けることが可能かどうか調べるため、奈良県生駒市にある介護施設の協力のもと、3人の被験者による評価実験を行なった。評価方法として、Leave-One-Person-Out Cross-Validation を用いた結果、平均 F 値：80.6%の精度で領域判定できることを確認し、本手法の有効性を明らかにした。

平成30年度は、課題4) 行動パターンの抽出とモデル化、課題5) BLE スキャナを含む環境センサの最小化に取り組み、以下の2点について成果をあげた。(1) 行動パターンの抽出とモ

デル化に関しては、行動パターンや行動が起こる時間帯を抽出・分析し、行動予測を行うためのモデル化を行うことで、行動時間が行動の遷移先に関係しているものがいくつかあり、行動時間ごとの分類によって遷移先が変化することを明らかにした。(2)BLE スキャナを含む環境センサの最小化に関しては、BLE スキャナを介護施設の各エリア内に最小の1台ずつを配置し、介護レポートを半自動生成するシステムを実装して評価したところ、被験者3人の行動を正確に切り分けて認識できることを示した。

令和元年度(平成31年度)は、これまで開発してきた全てのシステムを統合し、実用化に向けて奈良県生駒市にある実際の介護施設において評価実験を行い、本システムの有効性を明らかにしてきた。本研究課題期間全体の成果としては、査読付き学術論文誌：6件、査読付き国際会議：9件、国内研究会：9件、受賞：1件と大きな成果をあげることができたと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tatsuya Morita, Kenta Taki, Manato Fujimoto, Hirohiko Suwa, Yutaka Arakawa, Keiichi Yasumoto	4. 巻 Volume 2018
2. 論文標題 Beacon-based Time-Spatial Recognition toward Automatic Daily Care Reporting for Nursing Homes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Sensors	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1155/2018/2625195	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 高橋雄太, 音田恭宏, 藤本まなと, 荒川豊	4. 巻 vol. 8, no. 2
2. 論文標題 センサ装着杖を介した歩行動作検出手法の提案	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム (CDS)	6. 最初と最後の頁 43-55
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 高橋雄太, 音田恭宏, 藤本まなと, 荒川豊	4. 巻 vol. 8, no. 2
2. 論文標題 センサ装着杖を介した歩行動作検出手法の提案	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム (CDS)	6. 最初と最後の頁 43-55
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Masashi Fujiwara, Yukitoshi Kashimoto, Manato Fujimoto, Hirohiko Suwa, Yutaka Arakawa, Keiichi Yasumoto	4. 巻 vol. 10, no. 4
2. 論文標題 Implementation and Evaluation of Analog-PIR-sensor-based Activity Recognition	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 385-392
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.9746/jcmsi.10.385	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 柏本幸俊, 秦恭史, 中川愛梨, 諏訪博彦, 藤本まなと, 荒川豊, 繁住健哉, 小宮邦裕, 小西健太, 安本慶一	4. 巻 vol. 58, no. 2
2. 論文標題 エネルギーハーベスト焦電型赤外線・ドア開閉センサと家電消費電力に基づいた宅内生活行動認識システム	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 409-418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Haruka Wada, Zihua Zhang, Manato Fujimoto, Yutaka Arakawa, Keiichi Yaumot
2. 発表標題 QuickCareRecord: Efficient Care Recording Application with Location-based Automatic View Transition and Information Complement
3. 学会等名 13th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田遥香, 張志華, 藤本まなと, 荒川豊, 安本慶一
2. 発表標題 位置に応じたビュー切り替え機能と情報補完機能を有するモバイルアプリの実装と評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田遥香, 張志華, 藤本まなと, 荒川豊, 安本慶一
2. 発表標題 位置に応じたビュー切り替え機能と情報補完機能を有するモバイルアプリの設計
3. 学会等名 2018年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tatsuya Morita, Kenta Taki, Manato Fujimoto, Hirohiko Suwa, Yutaka Arakawa, Keiichi Yasumoto
2. 発表標題 Development of Automatic Daily Report Generation System for Supporting Daily Works on Carers
3. 学会等名 Advanced Technologies for Smarter Assisted Living solutions: Towards an open Smart Home infrastructure (SmarterAAL '18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Manato Fujimoto
2. 発表標題 Smart Sensing for Automatic Care Report Generation in Day Care Center
3. 学会等名 International Workshop on Smart Info-Media System in Asia (SISA 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤原聖司, 藤本まなと, 荒川豊, 安本慶一
2. 発表標題 ドップラーセンサを活用した宅内行動認識システムの開発と評価
3. 学会等名 社会システムと情報技術研究ウィーク (WSSIT18)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukitoshi Kashimoto, Tatsuya Morita, Manato Fujimoto, Yutaka Arakawa, Hirohiko Suwa, and Keiichi Yasumoto
2. 発表標題 Sensing Activities and Locations of Senior Citizens toward Automatic Daycare Report Generation
3. 学会等名 The 31st IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名	Yukitoshi Kashimoto, Masashi Fujiwara, Manato Fujimoto, Hirohiko Suwa, Yutaka Arakawa, and Keiichi Yasumoto
2. 発表標題	ALPAS: Analog-PIR-sensor-based Activity Recognition System in Smarthome
3. 学会等名	The 31st IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	Yukitoshi Kashimoto, Tatsuya Morita, Manato Fujimoto, Yutaka Arakawa, Hirohiko Suwa, and Keiichi Yasumoto
2. 発表標題	Implementation and Evaluation of Daycare Report Generation System based on BLE Tag
3. 学会等名	15th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (国際学会)
4. 発表年	2016年

1. 発表者名	森田達弥, 柏本幸俊, 藤本まなと, 荒川豊, 諏訪博彦, 安本慶一
2. 発表標題	デイケアセンタにおける業務支援のためのケアレポート自動作成システムの開発と評価
3. 学会等名	研究報告ユビキタスコンピューティングシステム
4. 発表年	2016年

1. 発表者名	森田達弥, 柏本幸俊, 藤本まなと, 荒川豊, 諏訪博彦, 安本慶一
2. 発表標題	宅内行動履歴自動生成に向けた加速度センサ内蔵BLEビーコンを用いた行動認識手法
3. 学会等名	2016年度 情報処理学会関西支部 支部大会
4. 発表年	2016年

1. 発表者名 藤本まなと，駒井清頭，荒川豊，諏訪博彦，柏本幸俊，安本慶一
2. 発表標題 デイケアセンターにおける高齢者の行動履歴自動生成システムの開発
3. 学会等名 マルチメディア，分散，協調とモバイル (DICOMO 2016) シンポジウム
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	安本 慶一 (Yasumoto Keiichi) (40273396)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授 (14603)	
研究分担者	荒川 豊 (Arakawa Yutaka) (30424203)	九州大学・システム情報科学研究所・教授 (17102)	
研究分担者	諏訪 博彦 (Suwa Hirohiko) (70447580)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・特任准教授 (14603)	