

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 21 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700062

研究課題名(和文) 人物・環境センシングの稼働時間拡大に向けた街規模センシング可否マップの構築

研究課題名(英文) A Study about Town-size Sensing Efficiency Map for Power-save on Human and Environment Context Sensing

研究代表者

榎堀 優 (Enokibori, Yu)

名古屋大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：60583309

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)：本研究は、スマートフォン等を用いたコンテキストウェアサービスの実現に向けた省電力機構を構築することを目的とした。まず、個々人が自身の日常生活圏にてセンシング可否マップを構築可能とし、複数人のセンシング可否マップを統合することで街規模の省電力を実現する計画であった。最終的に、街規模のセンシング可否マップは構築できなかったものの、個々人のセンシング可否マップの構築を容易ならびに精度を向上させるための「教師データ不要の潜在行動状態推定の実現」や「Wi-Fi電波ログベースのエリア識別マップの構築技術の充実」に成功した。

研究成果の概要(英文)：The final goal of this study is to build town-size sensing efficiency map to establish power saving on human and environment context sensing. This study had two steps: implementing methods to build sensing efficiency map for individual subjects on their living spheres, and implementing methods to merge such individual's efficiency map for town size one. At the final results, the second methods were not able to be established well, however, the first methods were improved with a method for latent human action detection without training dataset, and three building and analysis methods for Wi-Fi finger-print based area classifier.

研究分野：ユビキタスコンピューティング

キーワード：ユビキタスコンピューティング センシング コンテキストウェア Wi-Fiベース位置推定 行動認識

### 1. 研究開始当初の背景

研究開始時はスマートフォンが普及してきた次期であり、ウェアラブルデバイスを用いたコンテキストウェアなサービスの萌芽が多数見られた時期でもあった。一方で、今日でも解消されていない消費電力による時間可動の問題があり、常にセンサを稼働させていることは困難であり、多数の省電力機構が研究されていた。

省電力機構にはセンサ内部の情報だけを用いる独立式のものと、事前に環境情報を学習しておく事前学習式のものがあつた。事前学習式の例としては、日常生活範囲内の Wi-Fi フィンガープリントを学習しておき、場所の推定から、不要なセンシングを抑制するものなどである。例えば、社内にいることが判明しているならば、社内の出口付近の Wi-Fi フィンガープリントを検知するまで、移動手段判定用の加速度センサの電源を切っておくことで、省電力化が可能である。

一方で、このような事前学習を個人で構築する場合、その範囲は日常生活圏に限定される。そのため、例えば出張や遠出で日常生活圏を外れる場合、省電力機構が活用できないという問題があつた。本研究は、その解消を目的としたものである。なお、本研究では、省電力に用いるための事前学習結果をセンシング可否マップと呼び、以降ではその名称を用いる。

### 2. 研究の目的

本研究の最終目的は、個々人の構築したセンシング可否マップを連結統合可能とし、本人の日常生活圏外においても上記マップの恩恵を受けられる機構を構築することである。まず個々人のセンシング可否マップ構築手段の充実から始め、最終的には街規模のセンシング可否マップを構築することを目的としていた。研究開始当初では以下の4点を目標とした。

- (1) 正解ラベル入力を要しないセンシング可否条件抽出技術の確立
- (2) 各自の生活内で負担なく生活圏センシング可否マップを構築可能とする技術の確立
- (3) データの機種差・個体差・個人差をマップ接合部から補正する技術、ならびに、複数人のマップを統合した街規模マップを構築可能とする技術の確立
- (4) 街の建物構造や敷設物の変化に、マップ利用者から適宜収集したセンサデータにより、継続対応するシステムとして構築・公開

### 3. 研究の方法

本研究の達成には、街規模に分散した多人数の日常生活中でのセンサログが必要であつた。また、年齢や性別、生活様態などが多様である事が望まれた。そこで、研究代表者

が、申請当時に主として取り組んでいた愛知県「知の拠点」重点研究プロジェクトにて実施予定であつた100名規模のウェアラブル呼吸計測デバイスを用いた日常のかつ継続的な呼吸動作計測実験と連携することにより、多様な属性を持った被験者からデータを収集して、その成果から街規模のセンシング可否マップを構築する予定であつた。

その前段階として、10名程度の小規模での事前データ収集を実施すると共に、当該データを用いて当初研究目標(1)である正解ラベル入力を要しないセンシング可否条件抽出技術の確立、ならびに(2)各自の生活内で負担なく生活圏センシング可否マップを構築可能とする技術の確立、(3)データの機種差・個体差・個人差をマップ接合部から補正する技術、ならびに、複数人のマップを統合した街規模マップを構築可能とする技術の確立、を実施する予定であつた。

### 4. 研究成果

(1) 初年度である平成24年度は解析用データの収集を主に実施した。11名の被験者が最大3台のスマートフォンを保持し、プライバシーに問題が出ない10日間を選択して日常生活データを収集した。3機種の内40台から、11(名)×7(日)×1(台)=1848時間分のラベル無しデータ、11(名)×3(日)×3(台)=2376時間分のラベル付きデータを収集した。整理後の11名のラベル付きデータは HASC (Human Activity Sensing Consortium) に提供され公開されている。また、同結果は HASC Challenge 2012 で、データ収集貢献賞を受けた。

(2) 当初研究目標(1)である正解ラベル入力を要しないセンシング可否条件抽出技術の確立、ならびに(3)の内データの個人差の補正のため、上記データを用いて、「同一行動内における潜在行為状態の段階的導出」について研究した。

我々は多様な方法でセンサを保持している。スマートフォンを例とすると、胸ポケットに入れたり、鞆に入れたり、ズボンのポケットに入れたりする。センシング可否条件を抽出するための、加速度センサなどを用いた屋内でも利用可能な人物行動識別を充実させるためには、これらの全てに対して識別機を構築しておく必要があつた。しかし、必ずしも事前に想定された保持方法がとられない可能性もあり、個々人の保持方法などに特化した識別機を構築する必要があつた。また、同構築は、研究目的から、ユーザの負担なく自動的に実施されることが望ましかつた。

そこで我々は図1に示す段階的な行動識別機の構築により、それを可能とした。本手法では、まず、ユーザに依存しないが利用範囲が狭い識別機、例えば GPS を用いた移動速度検出からの歩行・走行・自転車・自動車の切り分け、等を用いて、高い精度でのデータ

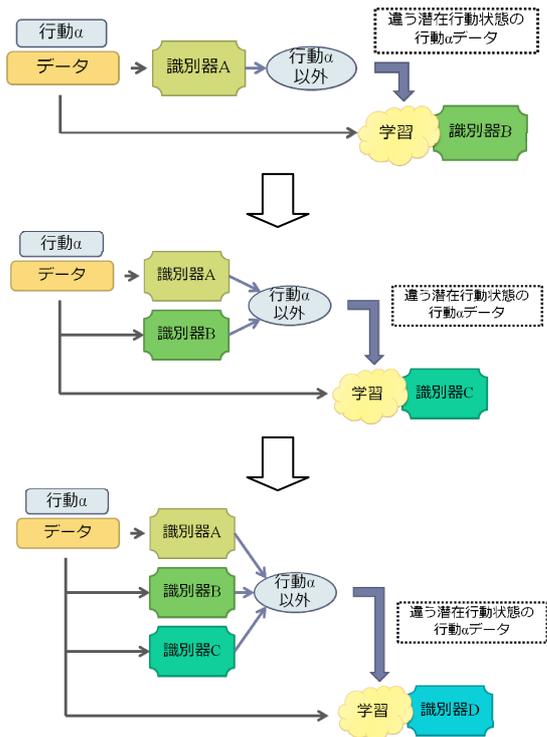


図 1: 潜在行動状態推定機の段階的導出

ラベル付を自動で行い、その結果を用いて利用範囲の広い識別機、例えば加速度データを利用した屋内でも利用可能な識別機を学習するものである。あるデータに対して、利用範囲の広い識別機による識別結果が、高精度識別機で付加した行動ラベルと異なる場合に、該当行動を新たな潜在行為状態、例えば異なる持ち方、であるとして、新たな識別機を学習する手法である。

本成果では、9名の被験者が行った、手持ち、ズボンのポケット、鞆の3個の状態を持つ、停滞、歩行、走行、スキップ、階段上り、階段下りの6行動に対して、平均0.61個の誤差で潜在行動状態を導出することに成功した。

(3) 当初研究目標(2)である各自の生活内で負担なく生活圏センシング可否マップを構築可能とする技術の確立を目指し、センシング可否マップの基礎となると目された、Wi-Fi電波ログのクラスタリングを用いたエリア識別機の構築について研究した。以下、項目(4)から(6)は全て、同目的のための研究である。

(4) Wi-Fi電波は不安定であり、通常のWi-Fi電波ログクラスタによるエリア識別で用いられるRSSI(電波強度)は状況によって増減するため、識別ミスが発生する割合が高い。そこで単純にWi-Fi電波のRSSIを比較するのではなく、識別機側も、識別に用いるデータ側も複数回計測したWi-Fi電波ログの分布を用いて高精度に識別する手法があった。しかし、分布を構築するには、複数回の計測が

必要であり、例えば数秒に1回しか計測できないスマートフォンのようなデバイスでは、20回の計測による分布の構築に1分と行った時間が必要であった。

そこで我々は、少数回の計測で分布形状が特定できる「レイリー分布を用いたWi-Fi電波強度分布に基づく少数標本時位置推定」について研究した。

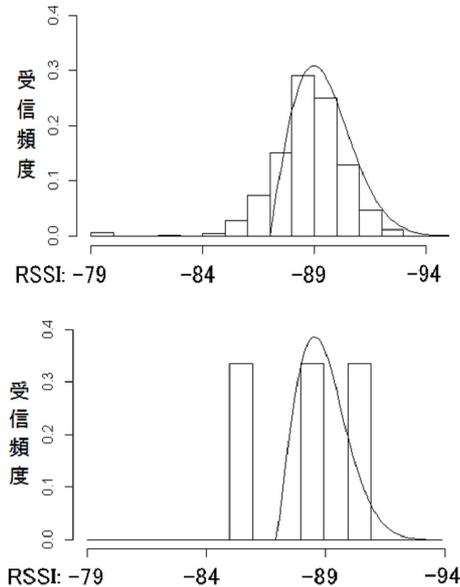
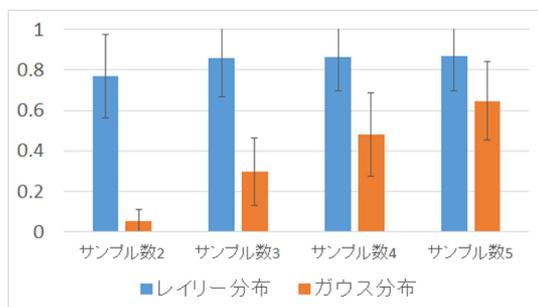


図 2: 多数標本と少数標本による

#### レイリー分布の比較

レイリー分布の例を図2に示す。上のグラフが多数標本によるレイリー分布の推定結果であり、下のグラフが少数標本(3標本)によるレイリー分布の推定結果である。グラフからも分かるように、レイリー分布は3標本というごく少数の観測でも多数標本時とほぼ同様の分布形状を構築することが出来る。

名古屋大学東山キャンパスIB電子情報館南棟3階の屋内にて、5m間隔で30分にわたり収集したWi-Fi電波ログを用いて実験を行ったところ、図3に示すようにガウス分布を用いた結果に比べ有意に識別精度が上昇した。本結果では、たかだか2サンプル(6秒)の計測で構築した分布により半数以上のF値が0.75を超える識別精度を得た。



1 サンプル = 3 秒分の Wi-Fi 電波ログ

図 3: レイリー分布を用いた少数標本時位置推定結果 (F 値)

(5) 有用なセンシング可否マップを構築するためには、Wi-Fi 電波ログのクラスタリングという絶対位置情報を用いないエリア識別においても、物理粒度を自由に設定できることが望ましい。そこで我々は、「停留時 Wi-Fi 電波ログを用いた物理粒度可変なエリア識別器の構築」について研究した。

Wi-Fi 電波ログは、距離と共に減衰するとされている。そのため、RSSI の減衰率と距離の関係の元を、基地局からの距離の変化を判別可能である。そのため、Wi-Fi 電波ログのクラスタリングを用いたエリア識別においても、同情報を用いれば物理的な粒度を自由に設定できる。しかし、現実には壁による反射などにより、理論通りの変化が発生しないことが知られている。そこで我々は、Wi-Fi 電波減衰の実態調査をすると共に、特異な RSSI を判定から排除することで高い精度で粒度可変な識別機を構築可能とした。

図 4 に RSSI の減衰例を示す。横軸は物理的な位置である。アクセスポイントの位置は左端であり、本来は右下に向けて減衰するはずである。しかし、現実には単純には減衰せず、中央の地点で識別機を構築したとすると、○の地点で類似 RSSI が検出され、誤判定を引き起こす。

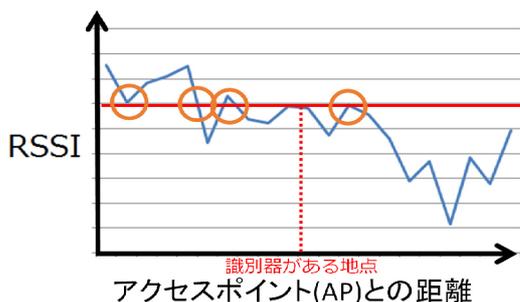


図 4: RSSI の減衰例(○は識別機構築地点と類似した RSSI が計測された地点)

そこで我々は、元来ノイズに強い AdaBoost をベースとした識別機を用いつつ、もっとも識別地点と類似していると判定された結果を除外する拡張を入れることで、RSSI の変動の影響を除外しつつ、粒度を選択可能な識別機を構築した。本識別機は、単一の学習結果によって、複数の識別粒度に対応する。図 5 に結果を示す。本実験では、5, 10, 15m の識別粒度を用いた。1 サンプル/3 秒であり、15 秒分データとは 3 サンプルを指す。グラフからも分かる通り、提案手法により粒度を可変とした場合でも高い精度を保っている。

(6) 有用なセンシング可否マップを構築するためには、Wi-Fi 電波ログのクラスタリングという絶対位置情報を用いないエリア識別において、構築されるエリア識別機の識別境界が人間の感覚に沿っているかが重要である。例えば、廊下にいたとしても部屋の中にいると判定されては、移動経路の導出など

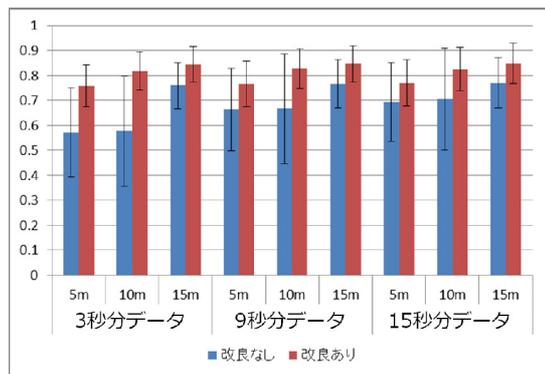


図 5: 物理粒度を指定したエリア識別結果(F 値)

で問題が発生する。しかし、絶対位置情報を用いず、停留情報から逐次的にエリア識別機を構築する場合、その識別境界が人間の感覚に沿っているかが不明であった。そこで我々は「停留時 Wi-Fi 電波ログから逐次構築したエリア識別器の建物構造からみた妥当性」について研究した。

本実験では名古屋大学東山キャンパス IB 電子情報館南棟 3 階の屋内にて、48 地点について 30 分のデータ収集を行い、仮想シナリオにそって逐次学習した場合の識別境界を用いて検討した。図 6 に異なる学習順番となる 3 つのシナリオによる学習結果を示す。各点の色はどの識別機へ割り当てられているかである。図 6 から分かる通り、異なる学習順番においても類似したエリア識別境界が構築されていることが分かる。これは、人の行動順に依存せずに、エリア境界がほぼ一意に決まることを示しており、センシング可否マップの構築に有意な特徴である。



図 6: 異なるシナリオで学習した場合のエリア識別境界

図 7 に全ての地点で学習が行われた結果について示す。これは、数ヶ月にわたり十分な学習が行われた結果をシミュレートしている。まず左側廊下が廊下 1, 曲がり角, 廊下 2 と 3 つのエリアに分割されていることが分かる。これは建物構造ならびに人間の感覚に沿

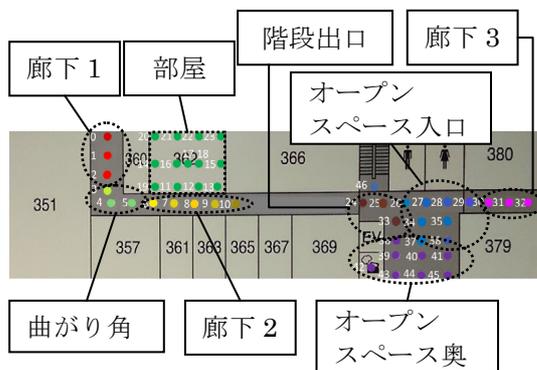


図7：全地点で学習した場合の  
エリア識別境界

ったエリア識別境界と言える。また、362の部屋は全て緑色となり、他の識別結果と隔離されており、同様に建物構造ならびに人間の感覚に沿ったエリア識別境界である。右側のスペースに注目すると、階段出口が一つのエリアとして隔離された。また、オープンスペースの廊下側、オープンスペースの奥側、オープンスペースから少し入った廊下3と、こちらも建物構造ならびに人間の感覚に沿ったエリア識別境界である。

このような識別境界が構築された原因は廊下の曲がり角や階段の出口で、電波の直進方向と異なる方向への開口部によりそちら方向への電波強度が急激に減衰するためである可能性が高い。これは、建物構造により自動的に、建物構造ならびに人間の感覚に沿ったエリア識別境界が構築されることを示しており、センシング可否マップの構築に有意な特徴であることが分かった。

(7) 上記成果は研究項目(1)および(2)に重点を置いたものである。研究項目(3)および(4)の研究は期間中において明確には進展しなかった。一つの原因として、本来連携予定であった。愛知県「知の拠点」重点研究プロジェクトの100名規模の計測実験が、研究計画の見直しから延期となったことがある。当初計画を1年延長したが、最終年度においても同実験は実施されず2015年以降に持ち越しとなった。

また、既存研究の活用によって研究期間の短縮を想定していた研究項目(1)および(2)において、多数の解決課題が見つかったため、研究の流れからも、その解決を優先したためである。結果、センシング可否マップのコアとなるWi-Fi電波ログを用いたエリア識別マップの構築について、多数の知見が得られた。

なお、100名規模の計測実験の未実施、ならびに研究項目(4)の大幅な縮小により、余剰予算が発生した。発生した余剰予算は適切に返金した。

## 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 0 件)

[学会発表] (計 4 件)

- (1) 藪圭輔, 榎堀優, 間瀬健二. "停留時 Wi-Fi 電波ログから逐次構築したエリア識別器の建物構造からみた妥当性", 第 45 回 UBI 研究会, 東京都, 芝浦工業大学, 2015.3.
- (2) 藪圭輔, 榎堀優, 間瀬健二. "停留時 Wi-Fi 電波ログを用いた物理粒度可変なエリア識別器の構築の検討", 第 44 回 UBI 研究会, 沖縄県, 沖縄科学技術大学院大学, 2014.10.
- (3) 藪圭輔, 榎堀優, 間瀬健二, "レイリー分布を用いた Wi-Fi 電波強度分布に基づく少数標本時位置推定", 第 41 回 UBI 研究会, 神奈川県, 慶応義塾大学, 2014.3
- (4) 伊藤義浩, 榎堀優, 平山高嗣, 間瀬健二, "同一行動内における潜在行為状態の段階的導出とその考察", HASC Challenge 2012 シンポジウム, 東京工科大学, 2012.12.

[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

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

榎堀 優 (ENOKIBORI, Yu)

名古屋大学・大学院情報科学研究科・助教  
研究者番号：60583309