

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：20103

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500093

研究課題名(和文) モバイルセンシングのためのデータ収集・蓄積・活用システムの構築

研究課題名(英文) The development of systems of data collection and management for mobile sensing

研究代表者

白石 陽 (SHIRAISHI, YOH)

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・准教授

研究者番号：90396797

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：人や車などの多数の移動体からセンサデータを収集し活用する試みとして、モバイルセンシングが注目されている。本研究課題では、具体的な応用システムとして、歩行者ナビゲーションのための経路推薦システム、車載スマートフォンを用いた車線推定システムおよび路面状況推定システムを提案・実装し、道路ネットワークデータ構造に基づいて収集したセンサデータを管理し、加工処理することが有効であることを示した。さらに、空間統計処理のためのデータベースシステムや車載カメラを用いた対向車線の渋滞状況検知手法の提案を行い、データ収集や蓄積の観点だけでなく情報提供の観点からもモバイルセンシングの要素技術の検討を行った。

研究成果の概要(英文)：Mobile sensing that shares and uses massive sensor data collected from various kinds of moving objects such as human and cars has attracted attention. In this study, we proposed a route recommendation system for pedestrian navigation, a system for lane estimation and a system for estimating road surface conditions with a smartphone mounted on a car. We implemented these systems and the experimental results show that managing and processing such collected sensor data based on road network data structure are useful. Also, we examined elemental techniques for mobile sensing not only from the viewpoint of data collection and management, but also from the viewpoint of information presentation, by developing a database system for spatial statistics using mobile sensing data and a method for detecting traffic condition on an oncoming lane with an in-vehicle camera.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：モバイルセンシング データベースシステム センサネットワーク プローブ情報システム 高度交通システム ナビゲーション スマートフォン

### 1. 研究開始当初の背景

近年、センサネットワークに関する新しい研究の流れとして、参加型センシング (participatory sensing)、プローブ情報システム、ヒューマンプローブなどの人や車などの移動体に様々なセンサを装着させ、その移動体からのセンシング情報を収集し、活用しようとする試み (モバイルセンシング) が国内外で進められている。また、GPS (Global Positioning System) などの位置センサ、加速度センサ、それらのセンサを内蔵した携帯電話やスマートフォンが普及しており、それらのセンサを用いた行動推定に関する研究も盛んに行われている。さらに、都市に多数のセンサを設置して、空間的に細かい密度で都市の現象を観測・把握しようとする試みも進められているが、実世界の様々な制約から十分な密度でセンサを設置できない場所も多い。そのような場合でも、センサが移動することで、センサが設置できない場所のセンシングを行うことができる点も、モバイルセンシングの利点である。このような人や車など多数の移動体からセンサデータを収集する「モバイルセンシング」技術を活用することで、従来の固定型のセンサネットワーク技術と比較して、空間的にも時間的にも細かい粒度 (細粒度) でのデータ収集が可能となり、様々な応用が期待できる。しかしながら、多数の移動体から、どのようにセンシングデータを収集し、収集したデータを、どのように蓄積し、活用するか、といった点については検討が不十分である。

### 2. 研究の目的

本研究では、人や車などの移動体によるセンシング (モバイルセンシング) に着目し、移動体から得られるセンシングデータの収集・蓄積・活用システムの構築を目的として、そのための要素技術の検討を進める。モバイルセンシングの具体的な応用例を設定し、モバイルセンシングデータの収集および蓄積の観点から要素技術の検討を行うことで、より実用的なシステムの実現を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究課題では、以下に示す複数の応用例 (歩行者ナビゲーション、交通、空間統計) を設定することで共通的な技術を抽出し、モバイルセンシングに必要な要素技術の検討を行う。

#### (1) 都市センシングデータに基づく経路推薦のためのデータベースシステム

都市センシングデータの活用により、細粒度の都市環境情報を反映した歩行者ナビゲーションの実現が期待される。しかし、センサノードの電源確保などの問題から、歩行者ナビゲーションレベルの経路推薦に十分な密度でセンサを設置することは難しいため、この疎密度なセンサノードの設置状況を考

慮し、道路に対して重みとして反映することが必要となる。そこで、歩行者ナビゲーションのための都市センシングデータを活用した経路推薦を行うデータベースシステムを提案する。提案システムは、収集された都市センシングデータに基づいて、地理情報システム (GIS: Geographic Information System) における空間補間技術を利用し、道路データの重み付けを行う。

本データベースシステムは、センシングデータおよび道路ネットワークデータを管理するデータ管理部、および、経路推薦のための情報を作成・管理するデータ処理部から構成される (図1)。データ処理部では、道路を複数のセグメントに分割し、GIS分野で提案されている空間補間技術を利用することで道路セグメント単位での重み付けを行い、その重みをコストとして経路推薦を行う。

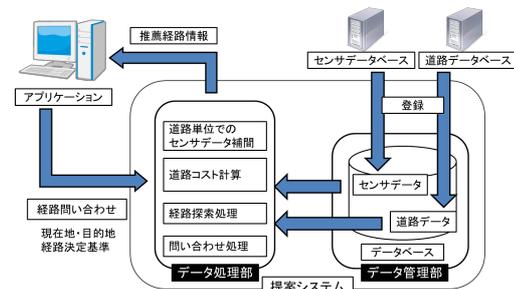


図1: 経路推薦システムの構成

#### (2) 交通応用

近年、交通情報や道路環境に関するセンサデータを収集・蓄積し、サービスに活用するプローブ情報システムが注目されている。一方、GPSや加速度センサなどの多種のセンサを内蔵したスマートフォンの普及が進んでいる。そこで、普及率の高いスマートフォンを車載して、センサ (プローブ) として利用することで導入コストを軽減し、収集したセンサデータを活用するプローブ情報システムを提案する。参加型センシングの観点で、低コストかつ広域にわたりセンサデータを収集し、収集した大量のセンサデータを集合知としてとらえることで、新しい発見や価値を創造することができると考える。

##### スマートフォンを用いた車線推定

車両の走行車線を推定することを目的とし、スマートフォンに内蔵されている複数のセンサを用いて車線推定を低コストで実現する手法を提案する。車両がどの車線を走行しているかという情報を把握することができれば、ナビゲーションや交通流の円滑化など様々なサービスへの活用が期待できる。本研究では、走行時の位置情報に基づいて走行車線を推定するのではなく、右左折や車線変更などの車両の行動変化に着目する。スマートフォンの加速度センサおよび方位センサのログデータを利用して、右左折の検知と車線変更の検知を行い、これらの検知結果に基づいて走行車線の推定を実現する。

スマートフォンを用いた路面状況推定  
 道路状況を表す情報の中で、自動車の快適な運転や乗り心地に関わるものとして、路面状況に着目する。路面状況は変化するため、特に冬期においては「轍が発生した」などという事実も共有する必要がある。既存研究として、固定カメラや車載カメラ、加速度センサを利用した研究が存在するが、導入コストの削減やロバスト性の向上、路面状況の変化の検知ができないなどの課題がある。そこで、路面状況を推定し、路面状況変化を検知する方法として、スマートフォンを用いた手法を提案する。

車載カメラを用いた対向車線の渋滞検知  
 対向車から自車の走行車線の前方の情報を受け取ることができれば、事前に渋滞の原因を把握することができる。そこで、車載カメラで対向車線を撮影して渋滞状況や渋滞原因を把握することを目的として、対向車線の車両の車速（対向車速）の推定を行う手法を提案する。この際、車載カメラで撮影した対向車線の画像系列のオプティカルフローに注目する。オプティカルフローは、一定の時間間隔で連続するデジタル画像において、画像間の物体の動きをベクトルで表示したものであるが、対向車線で発生するオプティカルフローの長さ（フロー長）は、対向車との距離や自車両・対向車両の車速によって異なると考えられる。そこでフロー長と対向車速の関係をデータベースに記録することで対向車速の推定を行う。

### (3) 空間統計のための geohash に基づくデータベースシステム

モバイルセンシングデータの応用として、人や車などの移動体の移動履歴や移動パターンに関する空間的な統計処理（空間統計）が挙げられる。しかし、こうした空間統計において収集・蓄積されるセンシングデータは膨大な時空間データであり、効率的なデータ管理および問い合わせ処理が要求される。そこで、空間統計のためのデータベースシステムとして、階層的な空間データ構造である geohash を用いたシステムを提案する。

## 4. 研究成果

### (1) 都市センシングデータに基づく経路推薦のためのデータベースシステム

歩行者ナビゲーションのための都市センシングデータを活用した経路推薦システムを提案した。提案システムは、GISの空間補間技術を用いて道路上のセンサデータを線的に補間することで推定し、その推定結果に基づいて経路推薦を行う。提案システムを実装し、道路ネットワークデータを道路セグメントに分割し、空間補間技術を活用して、道路セグメント単位でセンサデータに基づく重み付けを行うことで、適応的な経路推薦を

実現できることを示した。

図2は、実際に都市に設置されたセンサの観測値（気温）を利用して経路推薦を行った結果を示す。周辺のセンサの観測値を利用して空間補間処理を行った結果、道路セグメントごとの温度勾配が計算できる。空間補間の方法としては、逆距離加重法を利用している。その結果、距離的に最短な経路だけでなく、温度を考慮した経路を推薦できていることがわかる。



図2: 経路推薦結果の例

また、図3は、空間補間に利用するセンサを検索する範囲（検索範囲）と推定誤差の関係を示す。

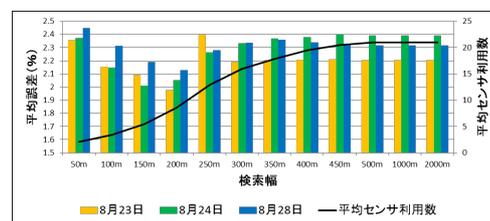


図3: 検索幅と推定誤差

検索範囲が狭いと補間に十分な観測値を集めることができず誤差は大きい、一方で、検索範囲を広げ過ぎると補間結果が平均化され誤差が大きくなるため、適切な検索範囲を設定することが有効であることが示唆された。本実験では、都市に固定的に設置されたセンサノードからのデータ収集を想定しているが、都市内を移動するセンサノードからデータを収集する状況においても適用可能であると考えられる。

### (2) スマートフォンを用いた車線推定

スマートフォンに組み込まれているセンサを利用し、従来手法よりも低コストでロバスト性の高い車線推定手法を提案した。提案システムは、車両走行時のスマートフォンの加速度センサ、方位センサ、GPSセンサの計測値をログとして記録する。そして、その計測値の変化によって右左折や車線変更を行った地点を検知し、その検知結果を利用して、道路セグメント単位で走行車線の推定を行う。提案手法をログデータ収集システム、車線推定システムとして実装した（図4）。

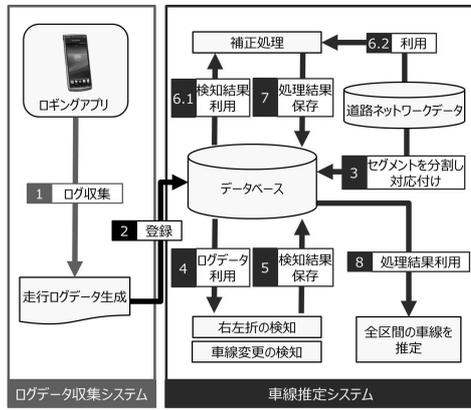


図4: 車線推定システムの構成

図5に、既存手法としてGPSおよびマップマッチング(青色)を利用した手法との比較結果を示す。グラフの横軸は、異なる走行時のログデータを示す。グラフ中の先行手法(赤色)は、改良前の手法を指すが、改良によって精度向上が実現できており、いずれの走行時も、提案手法(緑色)が既存手法より高い正答率を示していることがわかる。

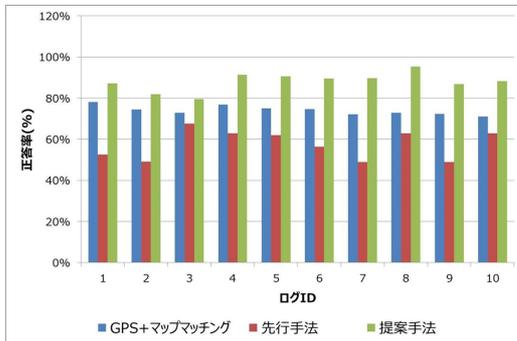


図5: 車線推定精度の比較

(3) スマートフォンを用いた路面状況推定  
 車載スマートフォンを用いた道路の路面状況を推定するシステムを提案した。スマートフォンの加速度センサを活用し、道路セグメント単位で凹凸や砂利道などの路面状況を推定するシステムを実装し、その推定結果を地図上に可視化するアプリケーションを実装した。提案手法では、ある区間を走行した時の上下方向加速度の分散値を計算し、閾値により路面状況(悪路レベル)を判別する。悪路レベルとしては、悪路レベル0(平坦で揺れはほとんど感じない)、悪路レベル1(アスファルトの境目やひび割れにより揺れを所々感じる)、悪路レベル2(砂利道のように揺れが激しく続くような道路)の3段階を設定した。

図6に、路面状況の推定結果を示す。図の青線は悪路レベル0、緑線は悪路レベル1、赤線は悪路レベル2である。図7の左図は積雪時の夜間の推定結果であり、右図は、その後の晴天時の日中の推定結果を示しており、冬季における路面状況の変化を示す例となっている。



2013/1/23の推定結果 (夜間・積雪あり) 2013/1/29の推定結果 (日中・晴天)

図6: 路面状況推定結果の例

路面状況の推定という点では、道路状態という線的なデータとして提供するか、段差という点的なデータとして提供するか、という検討も必要となることがわかった。すなわち、路面状況推定という新たな応用を想定することで、モバイルセンシングデータの収集・蓄積・活用に関して新たな観点で検討を進めることができた。また、研究成果(1),(2),(3)より、高度交通システムや歩行者ナビゲーションなど道路に沿って移動する人や車に対して、モバイルセンシングデータを用いてサービスを提供する場合には、道路ネットワークに基づくデータ構造を用いて観測データを管理し、加工処理を行うことが望ましいことが示された。

(4) 車載カメラを用いた対向車線の渋滞検知  
 本研究では、ドライブレコーダーやスマートフォンなどの車載カメラを利用することで、対向車線の渋滞を検知することを目的として、そのための要素技術である対向車速の推定手法を提案した。提案手法では、事前準備として、対向車速毎に発生するオプティカルフロー長をデータベース(車速別フロー長データベース)に登録しておく。走行時に撮影した画像系列から算出されたフロー長に基づいて、車速別フロー長データベースに問い合わせることで相対速度を取得し、そこから自車速を減算することで、対向車の検知および対向車速を推定する。推定された対向車速が一定値を下回る状態が続いた時に、その地点を渋滞と判定する。データベースに登録されていないフロー長に対しては、補間処理を行うことで対向車速の推定を行う。

研究成果(2),(3),(4)より、車載スマートフォンや車載カメラを用いた参加型センシングにより収集した情報を蓄積し共有することで、集合知としての活用が期待できる。

しかしながら、車載スマートフォンを利用して収集した情報を共有して活用する際には、車体差や個人の運転特性などの影響を受ける可能性がある。今後の課題として、それらの車体差や個人差の影響が推定結果にどのように影響するか調べ、対応策を検討することが挙げられる。

#### (5) 空間統計のための geohash に基づくデータベースシステム

モバイルセンシングのデータは、位置と時刻を持つ空間データであり、空間統計処理を施すことによって、ある時刻の人口分布、一日の人口の変化、滞留度などを空間的な分布として提示できる。そこで、モバイルセンシングデータを対象とした空間統計処理のための geohash に基づくデータベースシステムを提案した。geohash は階層的な空間データ構造であり、各階層のデータをメッシュ状に表現できる。また、文字列の長さによって異なる解像度のデータを表現することができ、文字列マッチングによって効率的な空間データ検索を実現できる。図7に提案システムの可視化の例を示す。

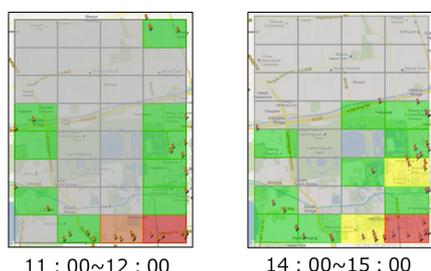


図7: 空間統計処理結果の例(人口推移)

図7は、異なる時間帯の各メッシュの人口を計数した結果であり、人口推移を示している。本システムによって、モバイルセンシングデータを面的な分布として提示ことができ、動的に変化する都市の状況を俯瞰的に把握することができる。

#### 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 2 件)

牧野 友哉、伊藤 嘉博、白石 陽、スマートフォンによる車線推定手法、情報処理学会論文誌、Vol.55、No.2、2014、pp.812-825、査読有

<http://id.nii.ac.jp/1001/00098480/>

伊藤 嘉博、中村 嘉隆、高橋 修、白石 陽、都市センシングデータに基づく経路推薦のための空間補間手法の提案と実装、情報処理学会論文誌、Vol.54、No2、2013、pp.740-752、査読有

<http://id.nii.ac.jp/1001/00090281/>

〔学会発表〕(計 16 件)

野村 智洋、牧野 友哉、白石 陽、スマートフォンを用いた路面状況変化の検知手法、マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOM02013)シンポジウム、2013年7月10日~12日、ホテル大平原(北海道十勝川温泉)

進藤 瞭、白石 陽、車載カメラ画像を用いた対向車線の渋滞状況の把握手法、マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOM02013)シンポジウム、2013年7月10日~12日、ホテル大平原(北海道十勝川温泉)

野村 智洋、牧野 友哉、白石 陽、快適な運転支援のためのスマートフォンを用いた路面状況の推定手法の提案、情報処理学会第75回全国大会、2013年3月6日~8日、東北大学(仙台市)

進藤 瞭、白石 陽、車載カメラ画像による対向車線の渋滞状況の把握手法、情報処理学会第75回全国大会、2013年3月6日~8日、東北大学(仙台市)

牧野 友哉、伊藤 嘉博、中村 嘉隆、高橋 修、白石 陽、スマートフォンを用いた車線推定手法、マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOM02012)シンポジウム、2012年7月4日~6日、ホテル百万石(石川県山代温泉)

小川 輝樹、伊藤 嘉博、中村 嘉隆、高橋 修、白石 陽、空間統計処理のための Geohash を用いたデータベースシステムの提案と評価、マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOM02012)シンポジウム、2012年7月4日~6日、ホテル百万石(石川県山代温泉)

牧野 友哉、伊藤 嘉博、荒井 健次、中村 嘉隆、高橋 修、白石 陽、スマートフォンを用いたセンサログデータの収集と車線推定システムへの応用、情報処理学会第74回全国大会、2012年3月6日~8日、名古屋工業大学(愛知県)

小川 輝樹、伊藤 嘉博、荒井 健次、中村 嘉隆、高橋 修、白石 陽、Geohash を用いたモバイルセンシングのためのデータベースシステムの提案、情報処理学会第74回全国大会、2012年3月6日~8日、名古屋工業大学(愛知県)

伊藤 嘉博、中村 嘉隆、白石 陽、高橋 修、センサデータを利用した経路推薦のためのデータベースシステム、マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOM02011)シンポジウム、2011年7月6日~8日、宮津ロイヤルホテル(京都府宮津市)

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

白石 陽 (SHIRAISHI, YOH)

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・准教授

研究者番号: 90396797