

平成30年6月5日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2017

課題番号：26700006

研究課題名(和文) 都市交通におけるユーザ参加型コンテキストセンシング

研究課題名(英文) Participatory Context Sensing for Urban Transportation

研究代表者

内山 彰(Uchiyama, Akira)

大阪大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：70555234

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：我々の都市生活において快適な移動を実現するためには、電車や地下鉄のような公共交通機関の利用をよりスムーズで快適にすることが重要である。本研究ではユーザ参加型のコンテキストセンシングを適用することで、より快適な都市交通の実現を目指し、研究に取り組んだ。具体的には、人々が所有するスマートフォンに搭載されたセンサデータを統合して利用することで、電車内の混雑状況、駅構内の混雑状況、都市空間の混雑状況、といった様々なコンテキストを推定するための手法を設計し、実環境における性能評価により有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：For our future urban society with comfort transportation, it is essential to make public transportation such as trains and subways more comfortable. In this research, to achieve the goal, we apply participatory context sensing to urban transportation. Specifically, we integrate multimodal sensor information to estimate various contexts such as congestion level in train cars, stations, and urban areas. The effectiveness of the proposed approaches is confirmed by evaluation through real experiments.

研究分野：モバイルコンピューティング

キーワード：参加型センシング 混雑推定 コンテキスト推定 モバイルセンシング

## 1. 研究開始当初の背景

高齢者、乳幼児連れ、身体障がい者など移動に困難を伴う人々に安心・安全な都市交通サービスを提供することは、少子高齢社会を迎えた我が国にとって豊かな社会を築くために重要である。トラム、地下鉄なども含めた電車は都市交通において中心的な役割を担っているが、主要な駅構内や周辺の構造は複雑に入り組んでいる場合も多く、目的の出口やプラットフォームに辿り着くことは容易ではない。例えば、電車を降りて同じ目的地に向かう場合でも、複数ある駅出口によって経路の長さやわかりやすさが変わる場合がある。また、プラットフォームから駅出口までの経路も降車位置によって複雑度が変化する。北京、パリ、ロンドン、ニューヨークなどの大都市では多数の電車路線が複雑に接続されており、日本のみならず世界的にも同様の問題が存在する。また、移動に困難を伴う人々に快適な都市交通サービスを提供するためには、これから乗車する予定の電車車両ごとの混雑状況や、空席状況などのコンテキスト情報を提示できることが望ましい。

このためには、駅構内に加えて駅周辺や乗車中の車両位置をシームレスに推定した上で、端末の位置分布や各端末周辺のコンテキストを推定する必要がある。端末の位置推定には様々な既存手法が存在するが、特に乗車中の車両位置を推定する場合には、金属製の壁や床などによる反射の影響や人体・車両間ドアによる遮蔽が存在するなど環境が特殊なため、既存の方式をそのまま適用することは困難である。また、各車両に WiFi 基地局などの位置基準となるインフラ設備を設置することも考えられるが、設置コストの問題から現状では新幹線の最新車両などごく一部に限られている。駅構内や駅周辺であれば WiFi 基地局からの電波強度に基づく位置推定法などが利用できるが、特に駅構内やプラットフォームにおいては WiFi 基地局の設置数が少なく、十分な精度が得られない場合がある。他にも加速度・地磁気センサを組み合わせて相対位置を推定する自律航法など、様々な手法が存在するが、多数の乗客が存在する都市部の駅構内・周辺では人体による遮蔽の影響や基地局数の不足などにより、十分な精度が得られない可能性がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、電車車両や駅構内、駅周辺の地下街やショッピングモールなどを対象に、インフラに依存せず、ユーザ参加型センシングに基づいて端末の位置分布ならびに端末を保持していない人々を含めた混雑状況などのコンテキストを推定することを目的とする。このような電車車両、駅構内、駅周辺環境を対象に、シームレスな人々の位置分布状況を把握し、さらに各地点の混雑状況や歩きやすさ、イベントの活況度合いといったコ

ンテキストを推定することができれば、安心・安全な都市交通サービスを人々に提供できるだけでなく、災害時の効率的な避難誘導計画の立案などの減災や、デジタルサイネージへの効果的な広告配信、混雑緩和のための人流誘導などにも役立つことが期待される。

## 3. 研究の方法

研究目的を達成するため、具体的には以下の(a)-(c)に取り組む。

(a)電車車両内、駅プラットフォームを含む駅構内、地下街やショッピングモールなどの駅周辺、のそれぞれの環境特性を考慮した人の行動モデルおよび電波伝搬モデルの構築

(b)各環境における端末の WiFi や Bluetooth 検出履歴および電波強度に基づいた、時空間上での相対的なユーザ位置分布の推定

(c)各ユーザ端末周辺の混雑状況や歩きやすさ、快適度などのコンテキスト推定

コンテキストの推定には、近隣ユーザ間の電波強度やスマートフォンに搭載された加速度センサやマイクなどを用いる。例えば、電車車両内の場合だと、やや混雑している状況では空席を探す、扉付近に立つ、といった行動を取り、さらに混雑が激しくなると乗車後通路付近まで移動してつり革につかまる、あるいは扉付近から動かない(身動きが取れない)、などの行動を取ると考えられる。このように各環境特有のコンテキストに応じた人の行動をモデル化し、様々なモバイルセンサを用いて検出・集約することで、各地点におけるコンテキストを高精度に推定する枠組みを設計する。

## 4. 研究成果

(1)電車における端末間の相対的な位置分布および混雑状況の同時推定手法の開発

電車による移動の間、ユーザの位置トラッキングおよび車両の混雑センシングを行うことで混雑していない路線や車両情報を提供するため、乗客の持つスマートフォンを利用した手法を開発した。

本手法では、スマートフォンが受信した近隣スマートフォンの Bluetooth の RSSI をサーバに集約し、端末間の相対的な位置推定(同一車両か否か)を行う。この際、端末間で観測される RSSI から、それらが同一車両に存在する確率(同一車両確率)および端末間が混雑している確率(混雑確率)を算出する(図1)。次に、得られた同一車両確率および一部の端末の(信頼度の高い)乗車車両情報を用いて全端末の乗車車両を推定し、その推定結果と端末間の混雑確率を用いて車両毎の混雑を推定する。同一車両確率および混雑確率の算出には、事前の学習データから構築した尤度関数を利用する。また、電車内の乗客移動は一般にあまり見られないことを利用し、同一車両確率を継続的に更新することで、乗降車が発生しても高精度かつ迅速な乗車車両推定および混雑推定を実現する。

大阪都市部における4つの路線において259分間に渡り収集した5万サンプルを用いて提案手法の評価を行った結果、16名の各車両位置を精度83%、車両毎の混雑の有無をF値0.75でそれぞれ推定できることが分かっている。また、Androidスマートフォンアプリのプロトタイプ(図2)を実装し、推定結果に基づく混雑状況のリアルタイム表示の実現可能性を示した。

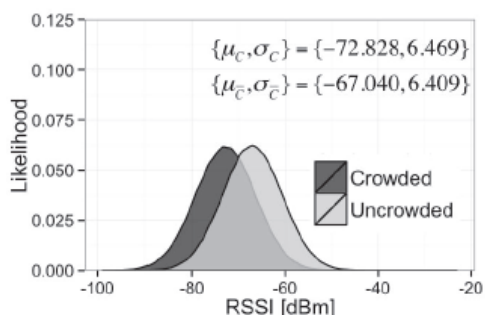


図1 混雑状況の尤度関数

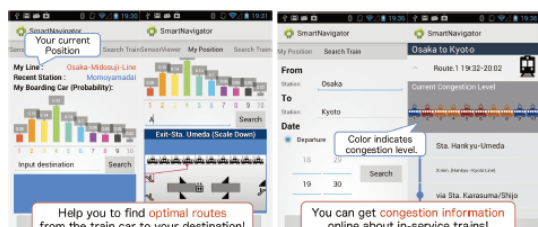


図2 車両混雑状況の表示アプリケーション

## (2) 駅構内におけるコンテキスト地図自動生成手法の開発

駅構内における券売機、改札、エスカレーターなどの様々なコンテキスト情報が付与されたデジタル地図を自動生成することで、駅構内ナビゲーションの高度化に寄与することができる。このため、これらのコンテキストをスマートフォンセンサの統合により検出するとともに、それらの位置を推定する手法 TransitLabel を開発した。事前実験により駅構内のコンテキストはそれぞれ1つまたは複数のスマートフォンセンサによって検出可能な特徴を有することを発見し、それぞれのコンテキストを検出する方式を設計している。例えば、自動販売機であれば、スマートフォンの加速度および角速度に加えて、地磁気にも特徴的な変化が生じる。また、エスカレーターであれば、高さの変化が気圧に表れると同時に、エスカレーターのモーター等による地磁気の変化が発生する。階段やエレベーターでも同様の気圧変化が発生するが、方向転換の有無や階段を昇降する動きが加速度に表れるため、これらを区別することができる。

TransitLabel の概要を図3に示す。まず、スマートフォンセンサから得られたデータを前処理することで、端末の姿勢変動の影響や異常値・ノイズの影響を軽減する。次に、加速度により検知される歩数と角速度により検出可能な方向を組み合わせた位置推定

方式である歩行者自律航法 (PDR: Pedestrian Dead Reckoning) によってスマートフォンの位置推定を行う。PDR では、時間の経過とともに蓄積する誤差が課題となるが、TransitLabel ではUnlocと呼ばれる手法を適用し、コンテキストが検知されたときに、推定位置をそのコンテキストの位置に修正する工夫をしている。

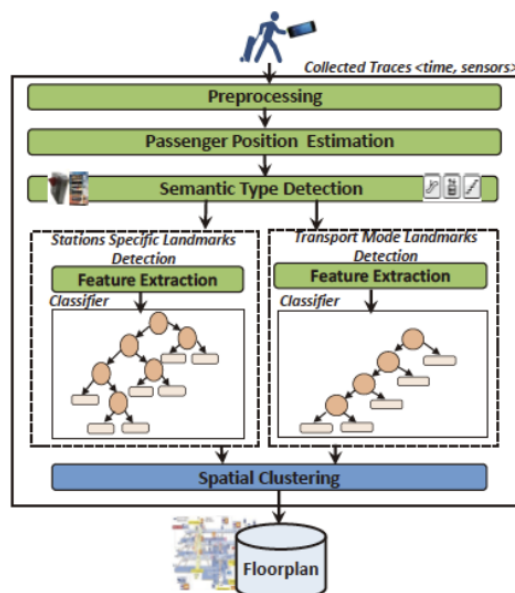


図3 TransitLabel の概要

駅構内におけるコンテキストは大まかに階段などの移動を伴う動的コンテキストと券売機などの静止状態にある静的コンテキストの2種類に分けられる。動的コンテキストは加速度、角速度、地磁気、気圧により推定が可能である。一方、静的コンテキストは、上記のセンサに加えて音も併用することで、検出が可能である。それぞれのコンテキストの分類は図4、図5に示す決定木により実現している。

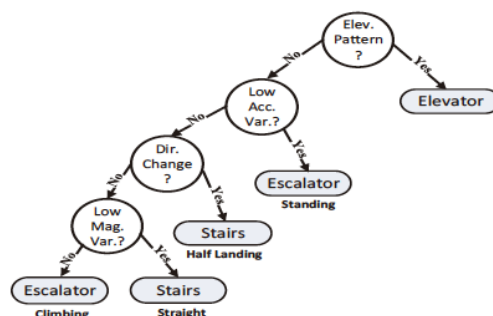


図4 動的コンテキストの決定木

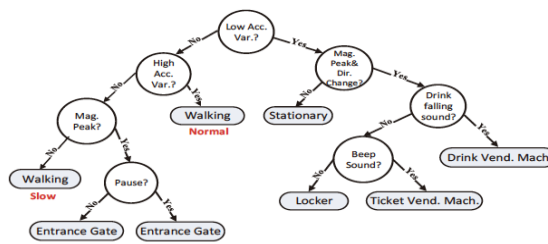


図5 静的コンテキストの決定木

性能評価では、様々な駅において実験を行った結果、全てのコンテキストに対して、最大でも偽陽性が 9.7%、偽陰性が 7.4%となることが分かった。また、TransitLabel による消費電力は GPS と比較して十分に小さいことを確認した。

#### (3) 駅構内におけるインフラ非依存型混雑状況推定手法の開発

先に開発した TransitLabel を拡張し、駅構内の様々な混雑状況を推定する手法 CrowdMeter を開発した。TransitLabel により検出したコンテキストごとに混雑状況に応じた特徴がセンサデータに表れることを発見し、それに基づく混雑推定を行う。例えば、券売機では、実際に券売機を使用する前に列に並び、列から 1 人ずつ抜ける度に、1 歩進むという行動をとる。これはスマートフォンの加速度センサによって容易に検出可能である。また、エスカレーターでは、利用者が増えるほど総重量が増えるため、モーターの回転速度を調整する必要があり、その結果、地磁気に変化が表れる。さらに、プラットフォームにおいては、混雑しているほど人の間をぬって移動しなければならないという特性に着目し、移動軌跡が最短距離から離れるほど、混雑している可能性が高いというアイデアに基づく混雑推定方式を考案した。実際の駅で収集したデータに基づき性能評価を行った結果、3 種類の混雑度合いを F 値約 80%で分類できることが分かった。

#### (4) スマートフォンカメラを用いた群衆人数推定法の考案

都市部の混雑状況把握を目的として、スマートフォンを有する協力者がビルの 2 階など比較的高所から群衆を撮影した俯瞰画像内の群衆人数を推定する手法を開発した。画像からの群衆人数推定法として、特徴量に基づき人物形状の検出を行う方式があるが、群衆内の人々は身体の境界が明確に現れにくいいため、高精度に人の形状の特徴量を得ることは難しい。そこで本研究では、群衆が存在する画像内領域をまず推定し、その面積を特徴量として群衆人数推定を行う。提案手法では、群衆が移動していることを仮定し、短い時間間隔で撮影された 2 つの画像の差分を取ることで群衆が存在する動体領域を抽出する。3次元空間シミュレータ Unity を用いて予め構築した歩行者面積モデルを構築しておき、動体領域における一人あたりの面積を用いて高精度な群衆人数推定を実現させる (図 6)。

Unity で再現した群衆画像および JR 大阪駅前で撮影した画像に対してそれぞれ提案手法を適用したところ、Unity によるシミュレーションでは絶対誤差が平均 11.1%となり、JR 大阪駅前では 12.0%となることが確認できた。



図 6 Unity による人数推定モデル構築の様子

#### (5) 携帯電話の通信履歴を用いたパーソントリップ推定法の考案

携帯電話での通信時に基地局で記録される制御情報の履歴(通信履歴)を用いて、電車および自動車で移動するユーザとその移動経路推定を行う手法を考案した。基地局の広いセルサイズに基づく位置情報の精度は非常に悪いため、この位置情報のみからユーザの移動経路を得ることは非常に困難である。そこで提案手法では、駅、路線、道路の位置や接続関係といった地理情報を用いる。まず地理情報および推定移動速度を利用して、全ユーザを電車旅客、自動車旅客およびその他のユーザに区分する。その後、各電車旅客についてはその乗車している電車を、自動車旅客はその移動経路をある尤度モデルに基づき推定する。

基地局との距離に依存した基地局選択方針に基づくシミュレーションを行った結果、電車旅客推定について通信頻度が 1 時間に 9 回を超える場合に再現率は 88%、精度は 89%となり、かつ乗車した電車は 85%の精度で推定できた。また、自動車旅客抽出については再現率は 75%、精度は 70%となり、経路推定では平均一致度 0.644 を達成できた。

#### (6) 車載カメラを用いた人流推定法の考案

都市部における時空間的解像度の高い人流把握を低コストに実現するため、近年普及が進んでいる車載カメラを用いた人流推定法を考案した。車載カメラ映像では歩行者同士の重なりや障害物による遮蔽が頻発し、常に各歩行者の全身を捉えることは困難である。しかし、車載カメラは移動するため、あるフレームで映像中に現れていない歩行者であっても、前後のフレームでは映像中に現れる可能性が高い。提案手法ではこの特性に着目し、2 段階で人流を推定する。まず、映像の各フレームに対して深層学習により前方および後方の 2 種類に分けて頭部検出を行う。その後、時間的に連続するフレーム間の検出結果に対して、位置および色類似度に基づき人物同定を行い、移動軌跡を推定する。

性能評価のため、大阪市内で実際に収集した車載カメラ映像に対し評価実験を行った。その結果、車両走行時に対して人数の誤差率は前方、後方それぞれ 0.07、-0.13 となり、複数フレームの検出結果を統合することの有効性を確認した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

①小島 颯平, 内山 彰, 廣森 聡仁, 山口 弘純, 東野 輝夫, “俯瞰画像における動体領域面積に基づく群衆人数推定法の提案”, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 58, No. 1, pp. 33-42, 2017.

②山田 遊馬, 内山 彰, 廣森 聡仁, 山口 弘純, 東野 輝夫, “携帯電話の基地局通信履歴と地理情報を用いたパーソントリップ推定法の提案”, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 57, No. 8, pp. 1826-1834, 2016.

③前川 勇樹, 内山 彰, 山口 弘純, 東野 輝夫, “鉄道における Bluetooth RSSI 特性を用いた乗車車両および混雑の推定手法”, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 55, No. 6, pp. 1614-1624, 2014.

[学会発表] (計 18 件)

①Moustafa Elhamshary, Moustafa Youssef, Akira Uchiyama, Hirozumi Yamaguchi, and Teruo Higashino, “CrowdMeter: Congestion Level Estimation in Railway Stations Using Smartphones”, Proceedings of the 16th Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom2018), Athens, Greece, 2018.

②原 佑輔, 内山 彰, 梅津 高朗, 東野 輝夫, “車載カメラを用いた深層学習による人流推定法の提案”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2018-ITS-72, pp. 1-8, 島根, 2018.

③Sohei Kojima, Akira Uchiyama, Masumi Shirakawa, Akihito Hiromori, Hirozumi Yamaguchi, and Teruo Higashino, “Crowd and Event Detection by Fusion of Camera Images and Micro Blogs”, in Proceedings of International Workshop on Crowd Assisted Sensing, Pervasive Systems and Communications (CASPer' 17), pp. 213-218, Hawaii, USA, 2017.

④Moustafa Elhamshary, Moustafa Youssef, Akira Uchiyama, Hirozumi Yamaguchi, and Teruo Higashino, “TransitLabel: A Crowd-Sensing System for Automatic Labeling of Transit Stations Semantics”, in Proceedings of 14th ACM International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys' 16), pp. 193-206, Singapore, Singapore, 2016.

⑤Moustafa Elhamshary, Akira Uchiyama, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino, and Moustafa Youssef, “Activity Recognition of Railway Passengers by Fusion of Low-Power Sensors in Mobile Phones”, in Proceedings of the 23rd ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (ACM SIGSPATIAL 2015), Seattle, USA, 2015.

⑥Yuki Maekawa, Akira Uchiyama, Hirozumi

Yamaguchi, and Teruo Higashino, “Car-level congestion and position estimation for railway trips using mobile phones”, in Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp 2014), pp. 939-950, Seattle, USA, 2014.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

内山 彰 (UCHIYAMA, Akira)

大阪大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号: 70555234