

## モバイルセンサでより快適な都市交通の実現へ



研究ノート

内山 彰\*

Towards Comfort Urban Transport by Mobile Sensors

Key Words : Crowd sensing, context estimation, smartphone

### 1. はじめに

平成27年版の総務省情報通信白書[1]によると、平成26年末のインターネットの人口普及率は82.8%であり、そのうち47.1%がスマートフォンを利用している。つまり、単純計算で2.5人に1人はスマートフォンを持っていることになる。スマートフォンには加速度、ジャイロ、地磁気、気圧、GPSなど様々なセンサが搭載されており、情報科学の世界ではこれらのセンサデータを活用して、ヒト・モノ・コトに関連する色々な状況(コンテキスト)を推定する研究が一つのトレンドとなっている。コンテキストの例として、街中の騒音レベル、道路の陥没箇所、自動車事故のリスクが高い場所、音楽ライブイベントの開催などが挙げられる。これらの中でも、筆者は都市交通を対象としたコンテキスト推定に関する研究を実施している。本稿では、その中でも鉄道を対象とした取り組みについて紹介したい。

### 2. 鉄道車両内の混雑状況把握の現状

都市部での移動手段において鉄道は重要な役割を担っており、その快適性を高めることは鉄道の利用を促進し、環境負荷を低減させることにつながる。もちろん、各鉄道会社や交通サービス会社においても利用者の利便性を高めるため、様々な取り組みがなされている。例えばJR東日本アプリ[2]では、山

手線の列車位置情報に加えて、車両ごとの混雑状況および温度をリアルタイムにスマートフォンで確認することができる。これらのデータは各車両に設置されたセンサによって収集されている。また、乗り換え案内サービス会社の大手の一つであるNAVITIME[3]は電車混雑レポートというサービスを提供しており、ユーザから寄せられた各列車の混雑状況の報告を公開している。

しかしながら、これらのサービスには依然として課題が残されている。その一つは、センサの設置に多大な費用がかかることである。JR東日本アプリのような車両ごとのきめ細やかなコンテキストを提供するためには、車両ごとの荷重など、搭載されたセンサにより測定した情報をネットワーク経由でリアルタイムに共有可能な新型車両の導入が必要となる。もう一つの課題は、ユーザからの報告、いわゆる口コミに頼る場合、果たしてどれだけのユーザがそのような報告をしてくれるのか、嘘の報告が紛れ込んでいないか、といった懸念が存在することである。

### 3. 電車旅客の乗車車両および車両混雑の同時推定

このような背景から、筆者は鉄道の車両毎の混雑を新たなセンサを設置することなく、スマートフォンのみを用いて自動的に推定する手法[4]を提案している。この手法では、システムに参加する乗客(ユーザ)の持つスマートフォンがBluetooth信号を発信するとともに、近隣ユーザのスマートフォンから発信されるBluetooth信号の受信状況を示すRSSI(Received Signal Strength Indicator)を記録し、クラウドサーバに送信する(図1)。サーバでは、収集されたユーザ間のBluetooth RSSIから各ユーザの乗車車両および車両ごとの混雑状況を推定し、他のユーザと共有する。



\* Akira UCHIYAMA

1981年7月生  
大阪大学 大学院情報科学研究科  
(2008年)  
現在、大阪大学 助教 博士(情報科学)  
モバイル・パーベイシブコンピューティング、モバイルセンシング  
TEL: 06-6879-4557  
FAX: 06-6879-4559  
E-mail: uchiyama@ist.osaka-u.ac.jp

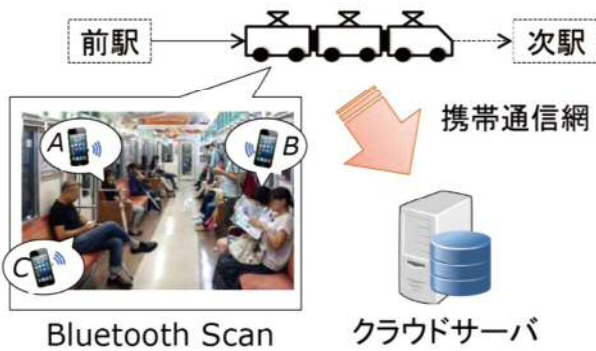


図1 システムアーキテクチャ

車両ごとの混雑を推定するためには、混雑状況だけでなく、ユーザの乗車車両も同時に推定する必要がある。このときの問題として、RSSIはユーザ間距離と混雑状況の両方の影響を受けるという事実がある。当然ながら、受信機と送信機の距離が離れるほど、RSSIは弱くなる。それだけでなく、人体は水分を多く含むため、受信機と送信機の間に入ると電波の減衰を引き起こす。しかし、我々が分かるのは各端末が受信したRSSIのみであり、ここからユーザの乗車車両とその車両の混雑状況を推定しなければならない。

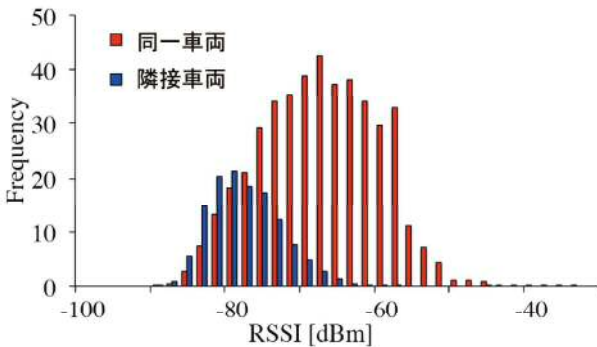


図2 ユーザ間のRSSI分布

この問題を解決するため、我々は車両と車両の間に存在するドアに着目した。車両間ドア付近には乗客がほとんど存在しないうえに、ドアは金属製であるため、ユーザが同一車両にいるか、隣接車両にいるか、という相対的な位置関係によってRSSIの分布が異なってくるのである。しかも、幸いなことにユーザの相対的な位置関係によるRSSI分布の差異は混雑状況によらず生じることが調査により明らかになった。図2は様々な混雑状況において観測されたユーザ間のRSSI分布を表している。この図から

分かるように、同一車両、隣接車両に乗車しているユーザ間で、観測されるRSSIの分布は明らかに異なっており、特にRSSIが一定以上の値である場合には、高い確率で同一車両に乗車していると考えられる。

この事実から、提案手法では、まず端末間で観測されるRSSIから、全ユーザ間の相対的な位置関係を推定し、そこから各ユーザの乗車車両を推定する。そして、同一車両に乗車していると推定されたユーザグループの間で観測されたRSSIの分布に基づき、車両内の混雑状況を推定する。

具体的には、様々な混雑状況、ユーザ間の相対位置について、事前に学習データを収集し、RSSIが観測された時にユーザ組が同一車両に乗車している確からしさを表す尤度関数を構築する。RSSIからの混雑推定についても同様に、同一車両に乗車しているユーザ間でRSSIが観測された時に、その車両が混雑している確からしさを表す尤度関数を構築しておく。これらの尤度関数を用いて、得られたRSSIからユーザ組ごとに相対的な位置関係の確からしさを算出したうえで、全体として尤もらしい相対位置を推定する。

このときの推定結果は相対位置であるため、前後関係が反転する可能性がある。このため、車掌や運転士など、乗車車両が分かっている人物にもスマートフォンを持たせておくことによって、一部の絶対位置を提供できるようにする。また、別の方法としてGPSの取得状況やWiFiにより観測された基地局集合の時間的な変化を比較することにより、絶対位置が提供されない場合でも、各ユーザの絶対位置を推定できる可能性がある。

さらに、提案手法では、人の行動に着目した工夫をすることで、精度の向上を図っている。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、前の駅区間で推定したユーザの乗車車両もある程度考慮しながら、次の駅区間でのBluetoothスキャンにより観測されたRSSI分布を利用することで、ユーザの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している。

#### 4. 様々な応用への期待とさらなる挑戦

以上のような提案手法で得られたユーザの乗車車両情報および各車両の混雑状況を用いることで、乗

車ユーザに対しては、降車後のホームにおいてどちらの方向に向かったら良いのか、といったスポット的な出口・乗り換え案内が提供可能となる。また、将来電車に乗車する旅客に対して車両レベルの混雑情報提示が可能になり、鉄道での移動における高度なナビゲーションへの応用が期待される。

本稿で紹介した手法では、鉄道車両内を対象に、ユーザ乗車車両および車両混雑の推定を行った。これに加えて、現在は駅構内を対象とした混雑状況の推定をスマートフォンにより行うための取り組みを進めている。このため、まず駅構内におけるエスカレーターや階段、改札などの様々なコンテキストをスマートフォンによって推定する方式も考案している [5]。さらにこの研究を応用し、プラットフォームの乗車位置ごとの待ち列の長さを推定するという試みも行っている。

また、スマートフォンのみならず、環境に設置されたWiFi基地局やセンサなどと連携することにより、コンテキストの推定精度を向上させたり、スマートフォンだけでは分からなかった新たなコンテキストを推定できる可能性がある。このように対象環境や目標に応じてスマートフォンを含めた様々なセンサや設備を協調させ、コンピュータにコンテキストを自動入力できるようにすることは、人工知能などを活用した高度なサービスを生み出すために欠かせない要素であり、今後も様々な環境に対して、研究が進められていくであろう。その際、既に広く普及しているスマートフォンはモバイル（移動する）セン

サとして大きな役割を果たすことが期待される。

- [1] 総務省, “情報通信白書平成27年版, 第3部第2節「ICTサービスの利用動向」”, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/html/nc372110.html> (Accessed 2016年7月10日).
- [2] JR東日本, “JR東日本アプリ”, <http://www.jreast-app.jp> (Accessed 2016年7月10日).
- [3] M. Arikawa, S. Konomi, and K. Ohnishi, “Navitime: Supporting Pedestrian Navigation in the Real World”, *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 6, No. 3, pp. 21-29, 2007.
- [4] Y. Maekawa, A. Uchiyama, H. Yamaguchi, and T. 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, 2014.
- [5] M. Elhamshary, M. Youssef, A. Uchiyama, H. Yamaguchi, and T. Higashino, “TransitLabel: A Crowd-Sensing System for Automatic Labeling of Transit Stations Semantics”, in *Proceedings of the 14th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys 2016)*, pp. 193-206, 2016.

