

混雑センシングツールキット

大野航[†] 少路健太[†] 木實新一^{††}

本稿では、小売店や飲食店、公共交通機関等のパブリックスペースにおける混雑情報を取得し利用するための参加型ツールキットについて述べる。混雑センシングにおけるCO₂センサ、加速度センサ、感圧センサ、焦電型赤外線センサの可能性を探るために電車内および飲食店内で実験を行い、この結果に基づきスマートフォン上のクラウドソーシングツール、CO₂センサ、焦電型赤外線センサを利用して信頼度付きの混雑情報を取得することができるツールキットを提案する。このツールキットはオープンソースハードウェア/ソフトウェアに基づくものであり、スマートフォン、個人の所持品等に埋込まれたセンサ、設置型の無線センサノードを利用して異なるレベルの市民参加を支援することができる。

A Congestion Sensing Toolkit

WATARU OHNO[†] KENTA SHOJI[†]
SHINICHI KONOMI^{††}

In this paper, we describe a participatory toolkit for collecting and using information about congestion in shops, restaurants, public transportation systems, and other public spaces. We carried out experiments on trains and in a restaurant to explore the possibility of CO₂ sensors, accelerometers, pressure sensors, and pyroelectric infrared sensors in congestion sensing, which informs the design of the toolkit that allows citizens to collect congestion information along with its reliability score by using a smartphone-based crowdsourcing tool, CO₂ sensors, and pyroelectric infrared sensors. The proposed toolkit is based on open hardware/software components, and exploits smartphones, embedded sensors in personal belongings, and stationary wireless sensor nodes to support different levels of citizen participation.

1. はじめに

スマートフォンの普及やハードウェアのオープン化が進み、スマートフォンやセンサをネットワーク化して手軽に環境データを収集することが可能になりつつある。しかしながら、ハードウェアやネットワーク、プログラミングに関するスキルを必ずしも持たない一般市民が、これらの技術を使いこなして有用情報を収集することはそれほど容易でない。

本稿では、小売店や飲食店、公共交通機関等のパブリックスペースにおける混雑情報を一般市民が取得し利用するための参加型ツールキットについて述べる。都市における混雑情報の収集は様々な状況や制約の下で行われるため、人手によるクラウドソーシングからセンサネットワークまで、各種の要素技術を適宜活用して一般市民が手軽に実施できることが望ましい。そこで我々は、スマートフォンを用いたクラウドソーシングとセンサネットワークを手軽に利用でき、また必要に応じて市民がツールをカスタマイズすることができる混雑センシングツールキットを提案する。

群衆の存在や人の動き、あるいはそれらにより影響を受ける環境要素を計測するセンサを利用すれば、混雑情報を自動的に取得することができる。人の動きについては、加速度センサ、感圧センサ、モーションセンサ（焦電型赤外

線センサ）、混雑により影響を受ける環境要素についてはCO₂センサが比較的手軽に利用できることから、我々はこれらのセンサを用いて電車内および飲食店内で実験を行い、その結果に基づいてセンシングツールの設計と、センサデータに基づいて混雑情報を推定する手法の検討を行った。

また、市民が収集する混雑情報は一般に品質や鮮度にばらつきがあるため、混雑情報がどの程度信頼できるものであるかを知ることが重要である。そこで我々は、先に述べた実験の結果に基づいて、安価なセンサのみ用いて混雑情報の信頼性を推定する手法の検討を行った。

これらの検討結果に基づいて我々が提案する混雑センシングツールキットは、オープンソースハードウェア/ソフトウェアと汎用的な小型通信モジュールを利用して、クラウドソーシングツール、携帯型センシングツール、設置型センシングツールの統合利用を可能にするものである。

2. クラウドソーシングツール

我々が開発したクラウドソーシングツールは、スマートフォンを用いて質問と回答の形式で各種の都市情報を収集することができるシンプルで汎用的なツールである[1]。現場の状況やコミュニティの問題意識によって、市民が必要とする混雑情報の内容や形式、精度は異なり、情報収集のコストにも違いが出てくる。万能のセンシングインフラストラクチャによって全てを解決しようとする“One-Size-Fits-All”の手法とは対照的な、市民の状況や問題意識の多様性を考慮した分散協調型の情報収集を支援する

[†] 東京大学 大学院新領域創成科学研究科
Graduate School of Frontier Sciences, the University of Tokyo
^{††} 東京大学 空間情報科学研究センター
Center for Spatial Information Science, the University of Tokyo

ことによって、有意義な市民参加と情報共有を実現することができる可能性がある。我々の提案するクラウドソーシングツールを用いれば、様々な市民が現場の状況や問題について理解を深めながら、どのような混雑情報をどのようにして集めるべきかを考え、情報収集タスクを適宜作成することが可能である。更に、作成した情報収集タスクを近傍の時空間に散布して混雑情報を収集することができる。

開発したツールのユーザインタフェースを図1に示す。図1aに示すのは、質問作成用インタフェースgQである。簡単な操作で質問を作成し近傍の地理空間に散布することができる。図1bに示すのは、回答入力用インタフェースgAである。シンプルな操作によって短時間で回答の入力を行うことができる。図1cに示すのは、回答表示用インタフェースgVである。回答の集計結果と個々の回答の位置を地図に重ね合わせて可視化することができる。このツールはAndroid OS, iOS, Mac OS X, Windows OS が動作するパソコン, タブレット, スマートフォン上で利用することができる。



(a) gQ (b) gA (c) gV
 図1 クラウドソーシングツールのプロトタイプ

Figure 1 Prototype Crowdsourcing Tool

3. 小型センサを用いた混雑推定

安価な小型センサを用いて取得したデータが混雑状況の推定へ有用であるか検証するため、実際に首都圏を走行する鉄道車両におけるある一駅区間において実験を行った[2]。比較として正確な混雑率を把握するため数取器を用いて1車両の人数を計測し、 $([1 \text{ 車両の人数}] / [1 \text{ 車両の定員}]) \times 100$ より混雑率を算定した。感圧・加速度・CO₂センサの3種類をそれぞれArduino UNO (w/ Wireless SD Shield)につないで取得したデータをSDカードに記録した。また、電車滞在時の乗客の姿勢に着目し、それを座位・立位・歩きの3種類に分類し、それぞれの姿勢から混雑率が推定できるか調べる。

(1) 実験結果・考察

図2に感圧センサによる測定結果を示す。座位の場合は値が1000mV程度検出されているのに対し、その他はほぼ検出

されていない。よって、感圧センサによって座位であるかは判断が可能である。

図3に加速度センサ(ADXL335)による測定結果を示す。明らかに歩きの値は約200mVの変動が見受けられるのに対し、その他は変動がほとんどなく一定である。また、加速度センサの立位と座位の測定結果(図4)の最小値の軸に着目すると、立位はY軸であるのに対し、座位はZ軸であるという結果が得られた。よって、加速度センサのみから姿勢の判断が可能である。

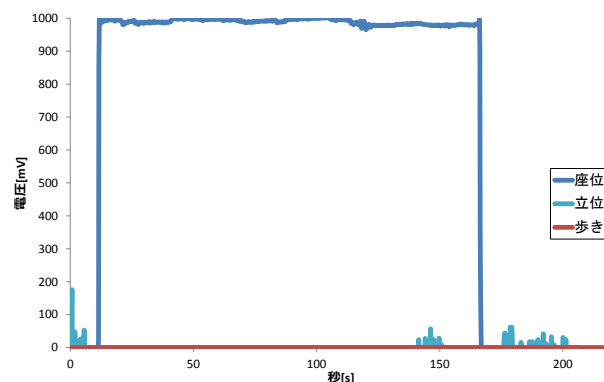


図2 感圧センサによる測定結果
 Figure 2 Measurement Results by the Pressure Sensor

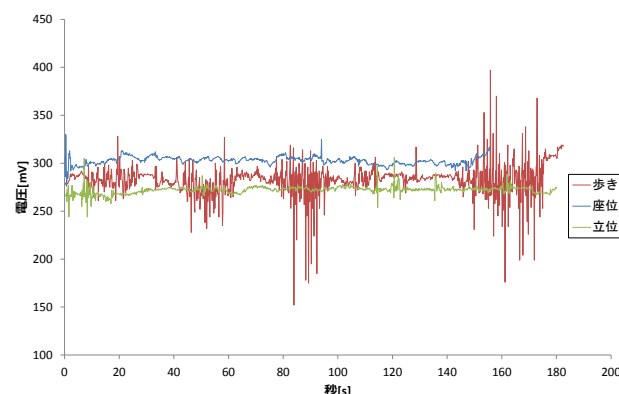


図3 加速度センサによる測定結果 (X軸)
 Figure 3 Measurement Results by the Acceleration Sensor (X-axis)

図5にCO₂センサ(CO₂ Engine K30)による測定結果を示す。混雑率が上がるにつれてCO₂濃度の最大値・平均値が上がっていることがわかる。また、混雑度とCO₂濃度の関係(図6)より混雑率とCO₂濃度はほぼ比例関係にあり、この関係性を用いれば濃度より混雑率が推定できるといえる。

(2) 混雑推定に向けての課題と解決方法

以上の実験内容を踏まえて、感圧・加速度・CO₂センサを用いた混雑推定を実現するためには4つの課題が考えられる。

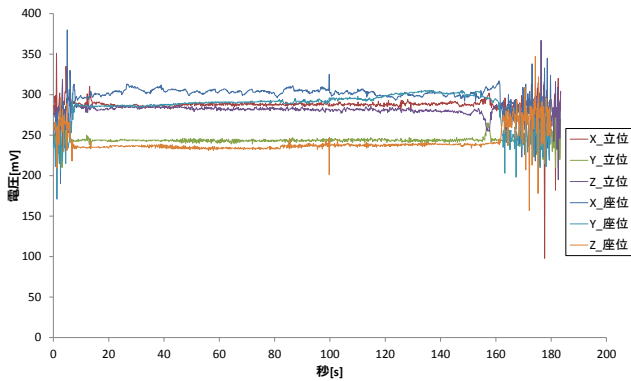


図 4 加速度センサの立位と座位の測定結果

Figure 4 Measurement Results by the Acceleration Sensor, for Standing and Sitting Positions

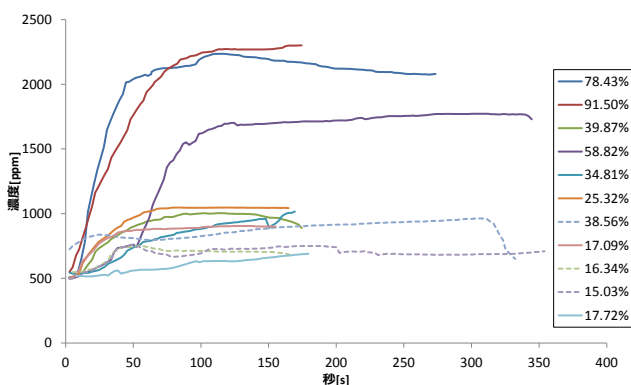


図 5 CO₂ センサによる測定結果

Figure 5 Measurement Results by the CO₂ Sensor

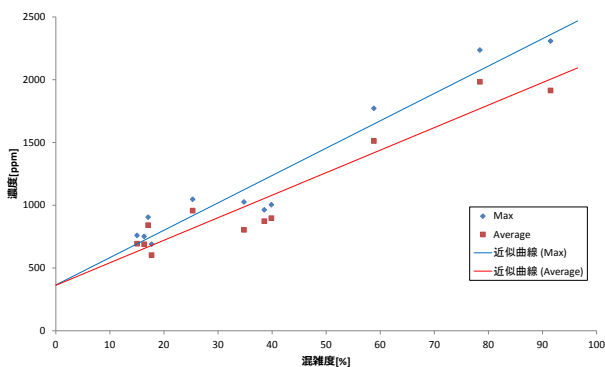


図 6 混雑度と CO₂ 濃度の関係

Figure 6 Relationship between Congestion and CO₂ Concentration

1 つ目に、スマートフォンに搭載されていないセンサについてである。加速度センサは現在のスマートフォンに搭載されているが、CO₂ センサは搭載されていないので、小型化・軽量化により手軽に持ち歩けるデバイスを作成する必要がある。

2 つ目に、複数の情報を組み合わせる必要性である。本研究で着目したユーザの姿勢だけではわからない情報をユ

ーザの投稿内容によって補う必要がある。

3 つ目に、ユーザの協力とプライバシーの問題である。これは匿名化や投稿情報に制限をかけることにより解決していく必要がある。

4 つ目に、位置情報に関する問題である。目的地や車両を特定するために、屋内測位や GPS 等の技術を用いてこれらの課題を解決していく必要がある。

4. 混雑情報の信頼性推定

市民が自由に投稿する情報は鮮度がまちまちであるため、これを用いてリアルタイムの混雑情報サービスを提供することは容易でない。しかしながら、現場の混雑状況の変化が緩慢であれば、鮮度の低い情報であっても利用することができる。そこで、混雑状況の変化を手軽に把握する手法を確立するために実験を行った[3]。

具体的には、焦電型赤外線センサ NaPiOn(AMN11111)と Arduino UNO (w/ Wireless SD Shield), XBee Series 2 を用いて簡易的なセンサネットワークを作成し、飲食店を対象として、得られた情報から対象店舗の混雑度の変化の推定を行った。これにより、クラウドソーシングによって得られた情報の信頼度が参照時点でのどの程度残っているかを、センサから取得した情報によって評価することができる。センサの設置箇所を変えながら複数回の実験・分析を行った結果、店舗の出入口に設置したセンサから得られた情報により、信頼度を推定するに至った。センサが連続して障害物を検出した区間が、出入口を通過した客の組数に等しいと仮定し、情報が投稿された時間から別のユーザが情報を参照するまでの間に、出入口を通過した組数を n 、店内の最大収容可能組数を c として、時刻 t にユーザによって投稿された空席情報の信頼度 r は以下の式を用いて算出することができる。

$$r = \left(1 - \frac{n}{c}\right) \times 100$$

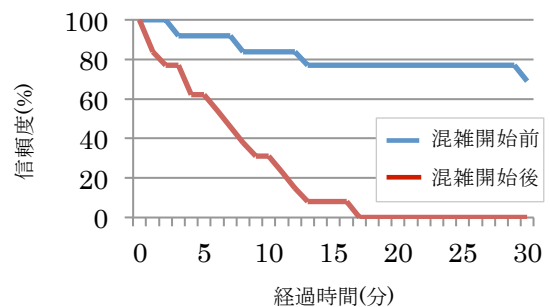


図 7 信頼度の時間変化

Figure 7 Time Variation of Reliability

これにより計算した、ランチタイムの混雑開始前と混雑開始後のそれぞれ 30 分間の信頼度の時間変化を図 7 に示す。混雑開始前には信頼度の低下が緩やかであるのに対して、

混雑開始後には信頼度の低下が急であるのがわかる。これは、目視による実際の混雑状況の変化と似た傾向を示している。従って、現場に少数の簡易的なセンサを置くだけで、自動的に混雑情報に信頼度を付加することができると考えられる。

5. 混雑センシングツールキット

我々が提案する混雑センシングツールキットは、クラウドソーシングツール、携帯型センシングツール、設置型センシングツール、取得したデータから混雑情報とその信頼度を推定する API、データベース管理システムを統合したものである。

図 8 にツールキットを用いた混雑情報収集の流れを示す。スマートフォン上のクラウドソーシングツールを用いて提供された混雑情報は、位置情報および時刻情報とともにデータベースに蓄積される。スマートフォンは、拡張モジュール(XBee Explorer Serial)を用いて ZigBee 通信を行うことができ、様々なセンサから受け取ったデータをインターネット上のサーバに送信することができる。個人の所持品等に埋込まれた携帯型センサ（例えば、カバンに埋込まれた CO₂ センサ）により得たデータと据え置き型のセンサノード（例えば、入口付近に置かれた赤外線センサ）により取得したデータはメッシュネットワークを介してスマートフォン経由でデータベースに蓄積される。なお、クラウドソーシングツール、携帯型センサ、設置型センサの全てまたは一部を自由に組み合わせて利用することができるため、全てのユーザが常時センサを携帯する必要はない。

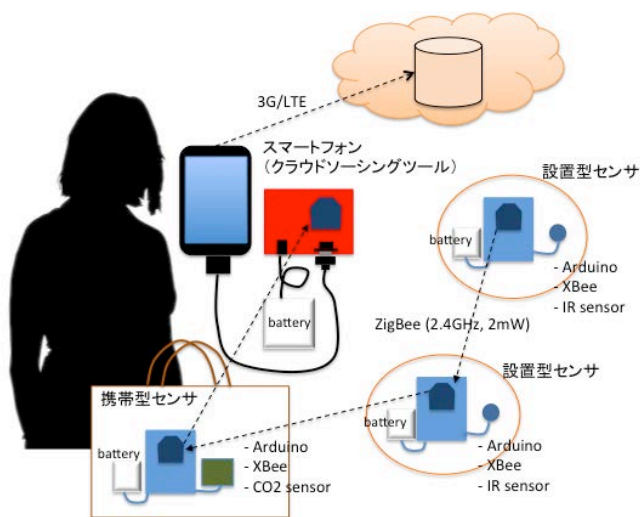


図 8 混雑情報の収集

Figure 8 Collecting Congestion Information

図 9 にツールキットを用いた混雑情報の利用の流れを示す。表示デバイス上でユーザが位置を指定すると、API_{cs} および API_{cc} を介して、センサデータに基づく混雑情報と

クラウドソーシングに基づく混雑情報がそれぞれ得られる。更に、混雑情報に付加された時刻情報に基づいて信頼度を取得する (API_r)。



図 9 混雑情報の利用

Figure 9 Using Congestion Information

ツールキットの汎用性を高めるために、特殊な専用デバイスは使用せず、スマートフォンとオープンソースハードウェア/ソフトウェアをネットワーク化した一般的なプラットフォーム上に、センサと API をモジュールとして「プラグイン」する構成を採用している。従って、CO₂ センサと焦電型赤外線センサを接続して手軽に利用できるだけでなく、必要に応じてハードウェアとソフトウェアのカスタマイゼーションを行うことができる。技術的なスキルを持った市民であれば、独自にモジュールを追加して様々なセンサを活用することが可能である。

6. むすび

小売店や飲食店、公共交通機関等のパブリックスペースにおける混雑情報を取得し利用するための参加型ツールキットについて述べた。クラウドソーシングとセンサネットワークを活用して信頼度付きの混雑情報を取得できる汎用的なツールキットを提供することで、様々なかたちの参加を支援することができると考えている。

参考文献

- 1) 木實新一, 「位置情報に基づく質問回答共有プラットフォームの開発」, 地理情報システム学会第 21 回研究大会, 2012 年 10 月.
- 2) 大野航, 木實新一: 参加型センシングによる電車混雑推定手法の提案, 地理情報システム学会第 21 回研究大会, 2012 年 10 月.
- 3) 少路健太, 木實新一: 時間経過による信頼性の変化を考慮した空席情報共有システムの提案」, 地理情報システム学会第 21 回研究大会, 2012 年 10 月.