

無意識参加型センシングシステムの有効性の検証

水上 貴晶^{1,a)} 堀 将之² 古謝 佑次² 土井 千章³ 太田 賢³ 稲村 浩³ 梶 克彦² 内藤 克浩²
菱田 隆彰² 水野 忠則²

概要：スマートフォンの普及を背景に、一般ユーザの持つスマートフォンを利用して高密度、広範囲の環境情報を収集する参加型センシングの実現が期待をされている。しかし、参加型センシングは多くの参加者が存在する事を前提としており、実用的なシステムを構築するためには手軽に参加してもらい、より多くの参加者が必要である。著者らは参加者にセンシング意識させない無意識参加型センシングの手法とプロトタイプ実装を行ってきた。本稿では、従来の参加型センシングと無意識参加型センシングのシミュレータを構築し、センサデバイスが定点観測しているセンサデータの報告数を定量的に評価した。愛知県金山駅付近をモデルとして設定したシナリオにおいてシミュレーションを行った。センサデバイスと参加者の持つスマートフォンとで無線通信を想定したシミュレーションを行った。シミュレーションの結果から無意識参加型センシングの特性と検証結果を報告する。

Verification of the effectiveness of an Unconscious Participatory Sensing System

TAKAMASA MIZUKAMI^{1,a)} MASAYUKI HORI² YUJI KOJA² CHIAKI DOI³ KEN OHTA³
HIROSHI INAMURA³ KATSUHIKO KAJI² KATSUHIRO NAITO² TAKAAKI HISHIDA² TADANORI MIZUNO²

1. はじめに

近年、安価で高精度な物理センサの普及によりセンサネットワークにおける研究が盛んに行われている。センサネットワークは様々な情報を収集するネットワークシステムとして注目されている [1]。物理センサにより温度や湿度、照度などの環境情報を定量的に取得する事が可能である。また、スマートフォンの普及によって一般者が携帯するスマートフォンを用いたセンシングに着目されている。スマートフォンには加速度センサや GPS センサなど様々な物理センサが搭載されている。そこでセンシングデバイスとしてスマートフォンを活用した参加型センシングに関

する研究が行われている [2]。

対象とする参加型センシングでは、センシングの依頼者が街中に散らばるスマートフォンを持つ参加者(一般者)に対して、センシングしたい各地点にセンシングを依頼するものと想定している [3]。従って、センシングをしたい各地点にセンシング参加者が多数存在している事が必要である。センシング処理に一般者が関与することから、測定場所、測定対象、測定方法などの自由度が大きく、一般者の持つスマートフォンを用いた新たな情報収集手法として注目されている。

参加型センシングで収集する情報は大別して、人による評価情報を収集する場合 [4] と物理センサなどを用いて定量的に測定可能な事象を収集する場合 [5] がある。人による評価情報とは物理センサでは測定できない、人間の持つ五感を活かした主観的かつ定性的な情報を収集し従来のセンシングでは取得できなかった情報を広範囲、高密度なセンシングに期待されている。一方、物理センサを用いた定量的に測定可能な事象を対象とした場合、参加者のスマー

¹ 愛知工業大学大学院 経営情報科学研究科
Graduate School of Business Administration and Computer
Science, Aichi Institute of Technology

² 愛知工業大学 情報科学部
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technolog

³ NTT ドコモ先進技術研究所
Research Laboratories, NTT DOCOMO, Inc.

a) b14723bb@aitech.ac.jp

トフォンに搭載されているセンサを利用する場合の事となる。そのため、システムから依頼を受けた参加者は、測定対象場所に移動しスマートフォンに搭載されているセンサ情報を取得する事になる。しかし、現実的なセンシングを考えた場合、スマートフォンに搭載されている、温度、気圧などのセンサは、スマートフォンの機種が異なる場合やモデルによって、実装されているセンサが異なり、センサ情報の精度及び実装環境が異なる事が予測される。このような条件では、同一環境において測定を行ったとしても、スマートフォンの機種やモデルにより異なる測定値が得られる事が考えられる。そのため、スマートフォン内蔵センサで利用可能なものは、加速度やGPSなどの比較的、機種やモデルの違いに影響を受けない測定値に限定されると予測される。結果として、特定の環境を継続的に測定する場合には、スマートフォンを通信回線として利用する一方で、測定自体は別デバイスを用いて測定値の精度を高める必要がある [6]。本稿では物理センサを用いた定量的に測定可能な事象を対象とした参加型センシングについて取り上げる。

参加型センシングにおいては参加者が自主的にセンシング処理に関与する必要があるため、多くの研究において参加者が積極的にセンシング処理に関与するための動機付け手法が検討されている [7]。

また、参加型センシングとソーシャルメディアの情報を複合的に処理を行う手法なども提案されている [8]。前述した通り、様々な研究が続けられているが、現状の参加型センシングでは、一般者を想定したシステムとまでは確立できておらず、センシングに興味を持つ一部の一般者を想定している状況である。

本稿では、著者らが先行研究 [9] で行っている無意識参加型センシングをシミュレータ Scenargie[10] を用いて、従来の参加型センシングとこれまでに提案してきた無意識参加型センシングのモデルを評価した。シミュレーションでは都市部を想定したシナリオを用いて、参加型センシングによるセンサデータ収集量と無意識参加型センシングによるデータ報告数を比較した結果、無意識参加型センシングにおいて、人通りの多い場所付近でのセンシングポイントにてセンシングデータをより多く収集できる事を確認できた。

2. 従来の一般的なセンシング方式と提案方式

本研究では、通信インフラを持たず、音や照度、温度、湿度といった物理的現象を定期的にセンシングする固定されたセンサデバイスが環境情報を収集したい場所に複数設置されている事を想定する。またセンシング参加者も多数存在している事を想定する。センシング参加者が携帯するスマートフォンを利用して定点観測しているセンサデバイスに近づき、無線通信を用いてセンサデータを収集し、ス

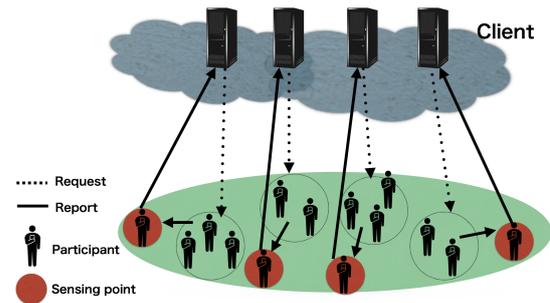


図 1 参加型センシング概要

マートフォンの通信回線を用いて報告を行うモデルについて考える。

2.1 参加型センシング

本稿が扱う参加型センシングでは、クライアントとスマートフォンを携帯している複数の参加者が存在している。図1に想定する参加型センシングの概要図に示す。クライアントは参加者に対してインターネットを介して、特定のセンシングの依頼を行う。依頼の例として以下に述べる。「ある地域内の天気を報告してください」「現在いる場所の温度を報告してください」といったものが例としてある。さらにより正確な環境情報を収集するため本稿ではセンシングするポイントには定点観測しているセンサデバイスが存在している。したがって参加者はクライアントの依頼に対してセンシングポイントに移動し、確率的にセンシングへの参加・不参加をするものとする。

2.2 提案方式

先行研究で提案およびプロトタイプ実装している無意識参加型センシングは、定点観測しているセンサデバイスに近距離無線通信機能 (Bluetooth Low Energy) と iBeacon[11] の技術を組み合わせたセンサデバイスを利用する。図2の無意識参加型センシングの概要図に示すように、参加型センシングと異なる点はクライアントが参加者に対して依頼をするわけではなく、センサデバイスが能動的に参加者に対してセンシング及びデータ収集を依頼する。つまり、偶然近接に存在するスマートフォンとスマートフォンが連携する事により、定点観測された情報を報告する。これにより、参加者は意識的にセンシングポイントに移動を行ったり、スマートフォンを操作して意識的にセンシングに参加を行う事なく無意識的にセンシングに参加が可能である。

3. 無意識参加型センシングの詳細

3.1 無意識参加型センシングの利点

従来の一般的な参加型センシングでは参加者はクライアントからの依頼を受けないため、クライアントは参加者の位置を事前に把握し通知行わなくてよいため、参加者の位

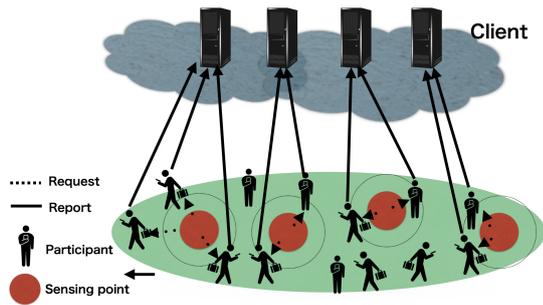


図 2 無意識参加型センシング概要

置情報などプライバシー情報が不要である。従って、センシングを依頼するためのトラフィックコストの削減が可能と考える。iBeacon の機能を用いる事によってアプリケーションをバックグラウンドで自動的に立ち上げる事ができるため参加者はスマートフォンを操作したり、特定のセンシング場所に赴く事を必要としないでセンシングに参加できる事から、参加者の負担も減少させる事ができると考える。一方センサ側の利点としては同一センサを利用した定点観測が可能であり、特定の場所の継続的な測定が可能である。また、センシングデータの報告にはスマートフォンの回線を利用して報告するため、センサデバイスの設置の際、ネットワークの有無に関わらず、容易に設置が可能である。上記の通り、センシング及びセンシングデータ収集を依頼する視点を変更する事によって、参加者やセンサデバイスに利点と特徴が生まれる。

3.2 無意識参加型センシングの構成

無意識参加型センシングでは、BLE 通信機能と iBeacon の機能を持ったセンサデバイス、iBeacon を検出可能なスマートフォン OS 上のセンシングデータ収集アプリケーション、センサデバイスと iBeacon の UUID, Major コード, Minor コードを管理しセンシングデータ収集を行う管理サーバにより構成される。各機器は以下の機能を持つ。

センサデバイス

センサデバイスの大きな特徴はセンサデバイスに iBeacon の機能を搭載する事によって、近接のスマートフォン上のセンシングアプリケーションを iBeacon の機能を用いて呼び出す事が可能となる。スマートフォン上のセンシングアプリケーションに自身のセンサデバイスを検出させる事ができ検出後、センサデバイスの設定されている iBeacon の UUID などの情報をもとにセンシングアプリケーションに対応する動作をさせる事が可能である。設計によってはスマートフォンの内蔵センサを用いて測定する場合も想定できる。また、センサデバイスは予め設定されたルールにしたがって動作を行う。例えば、ある一定の間隔でセンシングアプ

リケーションに探索を依頼したり、センサデバイスに搭載させている物理センサが測定している測定値の閾値を超えた場合など、クライアントの設計・開発方針によって振る舞いを変更可能である。

センシングアプリケーション

センシングアプリケーションの機能は、センサデバイスの探索、センサデバイスと BLE 通信を行いセンシングデータの収集、管理サーバへのセンシングデータ報告に大別される。iBeacon の機能を用いることで OS 上で iBeacon の UUID を管理、監視を行うため、アプリケーションがバックグラウンドで動作している必要もなく、センシングアプリケーションがインストールされていれば自動的に iBeacon 識別子範囲内にてアプリケーションが立ち上がりセンシングを行う。したがって、スマートフォンを操作せず無意識的にセンシング参加が可能である。

管理サーバ

管理サーバの機能は、センサデバイスの情報管理とセンシングデータの格納である。iBeacon では UUID, Major コード, Minor コードの識別子が用いられる事から、センシングアプリケーションがどの識別子を用いてセンシング処理を行うべきなのか管理を行う。多数のセンサデバイスを想定しているためすべてに別々の識別子を登録しておく事は現実的ではない。従って、センシングの種類に応じて識別子を定義し同一のセンシングを行うセンサデバイスは同一の識別子を用いる事が良いと考える。

4. 事前実験

前章で述べた提案手法である無意識参加型センシングを評価するため、まず予備実験を行った。センサデバイスとスマートフォン上で動作するセンシングアプリケーション、サーバを用いて行った実験結果を述べる。

4.1 実環境での通信測定

予備実験として、実機を用いた実環境でセンサデバイスとセンシングアプリケーションの間で発生する通信処理時間を測定した。本提案手法は iBeacon の技術を利用したバックグラウンド処理のため iOS のバックグラウンド処理時間の制約である約 10 秒間の間に提案手法の通信プロセスが正しく動作し、制約時間内に処理が完結する事の確認を行った。本学の大学内にセンサデバイスとして Raspberry Pi をセンシングアプリケーションとして iPod touch(第五世代)、サーバにサクラクラウドサービスを試験的に用いた。センサデバイスで温度・湿度を定点観測し、スマートフォンを携帯して iBeacon 識別子範囲内の出入りを繰り返

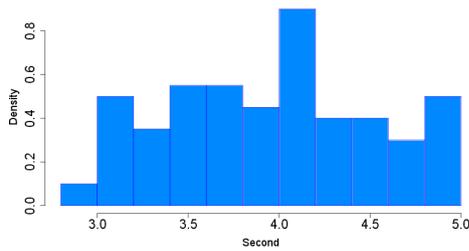


図 3 実験結果

し、センシングデータ収集及び、処理時間の計測を行った。

4.2 実験結果と評価

センサデバイスから発信される ibeacon 識別子範囲内にセンシングアプリケーションがインストールされたスマートフォンが侵入し、ibeacon 識別子範囲内で BLE 通信を用いてセンサデバイスを探索し、探索後、温湿度データを収集、取得したデータをサーバに転送し、センサデバイスにデータが正しく転送された事を通知するまでの時間は平均約 3.8 秒必要である事が図 3 の実験結果より確認できた。従って、iOS のバックグラウンド処理制約の約 10 秒の制約内で処理が完結することが確認でき現実的に実現可能である事が確認できた。

5. シミュレーション評価

従来の参加型センシングによるセンシングデータ報告数において、提案する無意識参加型センシングの有効性を調べるためのシミュレーション実験を行う。評価方法として、従来の参加型センシングにおけるセンシングデータ報告数とセンサデバイスが主体となる無意識参加型センシングでのセンシングデータ報告数を比較する。

5.1 シミュレーション環境

シミュレーション方法はシミュレーションフレームワークである Scenargie と MultiAgentExtentionModule を用いた。また地図サービスは OpenStreetMap を用いた。図 4 は今回使用するシミュレーションのマップであり、市街地を想定したマップに対して環境情報を定点観測するセンサデバイスを複数配置する。図 4 中の各センサにおける特徴はセンサ 1 が幹線道路クラスの道幅 (25m, 2 人/1 平米)、センサ 2 が主要道路クラスの道幅 (20m, 1 人/1 平米)、センサ 3 が道幅 (15m, 0.5 人/1 平米)、センサ 4 が小道 (5m, 0.1 人/1 平米) の道幅に設置してある。またそれぞれの道幅に対して人通りの制限を設けている。図 4 で使用したマップは愛知県の金山で格子状であり、道幅が均等でないところを選び使用した。次にランダムに移動する参加者を想定したノードを配置し、Scenargie を用いてセンサデバイスと参加者の持つスマートフォンとの無線通信を想定したシ

表 1 シミュレーションパラメータ

パラメータ項目	値
フィールドサイズ	500 × 500[m]
参加者数	850
参加者の移動速度	1.5~2.0[m/s]
センシングポイント数	4
シミュレーション時間	6000[s]
センシング依頼周期	600[s]
センシング依頼回数	10[回]
センシング範囲 (無意識参加型)	半径 30[m]

ミュレーションを行った。

5.2 想定するシナリオ

表 1 は今回シミュレーションで行う際に使用したパラメータである。本シミュレーションでは、0.5km × 0.5km サイズのフィールド上を複数のセンシング参加者が 1.5~2.0m/s の速度で移動を行う。1.5~2.0m/s は人間の通常歩行速度から算出している。参加者の数は 850 人としている。参加者の算出には政府統計の総合窓口 (e-Stat) [12] よりダウンロードした国勢調査 (総務省統計局) の統計データに総務省の情報通信の現況・政策の動向からスマートフォン利用率約 42%[13] を用いて算出した。フィールド上に、格子状に通路が存在し、各地点にセンシングポイントが 4 つ存在している。センシングポイントでは物理センサにより温度や湿度、照度、音など環境情報を定点観測している事を想定する。シミュレーションで行う参加型センシングのシナリオ及び無意識参加型センシングのシナリオを紹介する。

5.2.1 参加型センシングシナリオ

参加型センシングのシミュレーションでは格子状の通行にセンシングポイントを複数箇所設ける。センシング参加者に対して、依頼周期である 600 秒毎にセンシングポイントの各地点に対するセンシングを依頼する。クライアントはセンシング依頼周期毎に、フィールド上からランダムにセンシングポイントが選択されセンシング参加者にセンシングの依頼を行う。クライアントはセンサデバイスの半径 150m の範囲に存在する最適な参加者を選択し、選択された

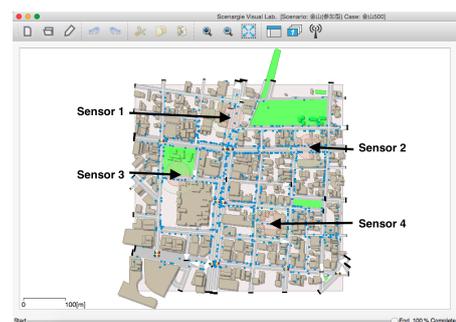


図 4 シミュレーションマップ

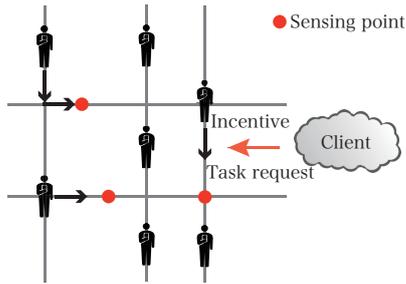


図 5 参加型センシングのシナリオ

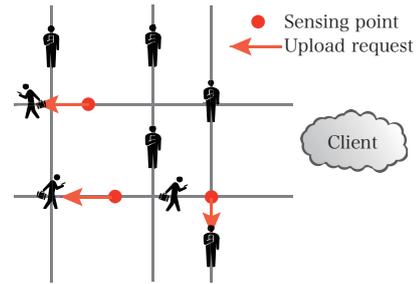


図 6 無意識参加型センシングのシナリオ

参加者達はセンシングへの参加を決定した場合のみ、依頼を受けた地点に最短距離で移動を行い、センシングポイントにてセンシングされた情報を収集、報告し通常の動作に戻る。参加型センシングの場合、参加者に対してからなずしも依頼を受け入れ、行動してくれるとは限らないため参加者のセンシングモチベーションなどによりセンシングを依頼しても行動してくれない可能性も考えられる。従って、参加者がセンシングの依頼を受け、行動しセンシングデータを報告するには参加者のモチベーションや報酬、指定場所への距離などに起因すると考えられる。そこで今回は、JMR 生活総合研究所 [14] からイノベーション理論にある、イノベーター (2.5%)、アーリーアダプター (13.5%) がセンシングに参加し依頼を承諾し行動、報告を行うものとし、約 16% がセンシングに参加するとした。図 5 にシミュレートするシナリオの概略図を示す。また以下に想定しているクライアントおよび参加者の振る舞いを示す。

クライアント

- センシング参加者の位置を事前に把握
- センシングポイントを指定
- センシング箇所へのタスク依頼を場合により報酬などと共に参加者に通知
- 各地点のセンシングデータを受信

参加者

- インターネットに接続可能なスマートフォンを携帯
- センシングに参加する場合は、指定のセンシングポイントまで移動しセンシングしたデータをクライアントに報告

5.2.2 無意識参加型センシングシナリオ

無意識参加型センシングのシミュレーションにおいても参加型センシングの環境と同様に格子状の通路にセンシングポイントを複数箇所設ける。無意識参加型センシングではクライアントからセンシング参加者に対して依頼するのではなくセンサポイントに設置されているセンサデバイスが参加者にセンシング及び報告を依頼する。したがってセンシング参加者は特に決められた動きをする事なく自由に行動する。参加者が偶然センシングポイントに近づき、セ

ンシング可能範囲内である半径 30m 以内に侵入し範囲内に 4 秒以上滞在した場合、自動的にセンシングを開始しクライアントへ報告を行う。センシング可能範囲内の 30m は iBeacon 及び BLE アドバタイズの理論値を用いて設定している。また事前実験により得られたセンシング処理時間を用いて滞在時間を算出している。図 6 にシミュレートするシナリオ概要図を示す。また以下に想定しているクライアントおよび参加者、センサデバイスの振る舞いを示す。

クライアント

- センシング参加者の位置を事前に把握不要
- 各地点のセンシングデータを受信

参加者

- インターネットに接続可能なスマートフォンを携帯
- 参加者はセンシングポイントの場所を意識不要
- センシングポイントの近隣に存在した場合、バックグラウンドでセンシング情報を収集しクライアントに報告

センサデバイス

- 近隣の参加者に対してセンシングを依頼
- 近隣の参加者にスマートフォンの回線を用いてセンシング情報の報告を依頼

5.3 シミュレーション結果

シミュレーションの結果を図 7 に示す。参加型センシングの場合はセンサ 2~4 はほぼ同じ量のセンシングデータの報告があり、センサ 1 のみ報告数が少ない結果となった。センサ 1 の報告数が少なかった要因としては、大きな建築物が隣接しておりセンシング依頼周期時に建物の中に参加者が存在し、建物内の参加者にはセンシング依頼しなかったため報告数が少なかった事が考えられる。無意識参加型センシングの場合の場合は、道幅に大きさによって報告数が違う事が確認できた。道幅の一番大きな通り付近に設置してあるセンサ 1 が一番多く報告され、道幅が小さくなるにつれて報告数が減少している。従って、無意識参加型センシングは道幅や人通りの多さによって報告数が異なると

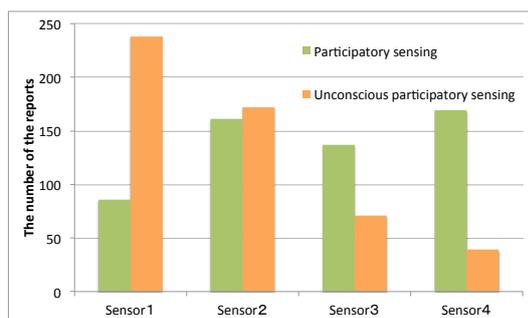


図7 参加型センシングと無意識参加型センシングのセンシングデータ報告数の比較

いう特徴が確認できた。つまり、センサを設置する際、巨大な建築物などで歩行者が侵入できないエリアがセンシング依頼範囲内を多く占めていると、参加型センシングではセンシング効率が低下するなどといった地理的要因により報告数に影響が及ぶ事が確認できた。図7に示す通り、人通りの少ない場所では参加型センシングの方式の方が多くセンシングの報告がなされ、無意識参加型センシングでは人通りの多さによってセンシング報告数に変化がある事が分かった。

6. まとめ

本研究では、一般的な参加型センシングと無意識型センシングにおいてそれぞれシナリオを作成し、シミュレーションを行った。それぞれの手法でセンシングポイントを設け、参加者を通じてセンシングデータの報告量について評価を行い、無意識型センシングの特徴をシミュレーションにより確認することができた。シミュレーション結果より、無意識型センシングを評価した結果、すべてのセンシングポイントで参加型センシングより優れている訳ではなく、人通りの多い場所付近のセンシングポイントの場合、参加型センシングより多くのセンシングデータ収集できることが確認できた。従って、無意識参加型センシングにおいては人通りの多い場所や大通りを行った道幅が広い場所付近でのセンシングデータ収集が参加型センシングよりも優れているという特徴が確認できた。最後に、より幅広く多くの環境情報を収集する事を目的とした場合、人通りが多い場所におけるセンシングには無意識参加型センシングの方式を用いて、人通りが少ない場所や人があまり行かないような場所のセンシングが必要の際には従来の参加型センシングの方式を用いて、センシングデータを収集する事がよいと考える。そこで、参加型のセンシングの方式と無意識参加型センシングの方式を両方取り込んだ、新たなセンシング方式が有効なのではないかと考える。今後はシミュレーションのシナリオの改善を行い、参加者の心理的な状態やセンシングポイントまでの距離や報酬などによって生じる行動の変化をシミュレーションによって実現し、より

現実世界に近い環境下で評価実験を行っていききたい。

参考文献

- [1] F. Viani, P. Rocca, G. Oliveri, and A. Massa: Pervasive remote sensing through WSNs, In Antennas and Propagation (EUCAP), 2012 6th European Conference on, pp. 49-50. IEEE, 2012.
- [2] N. D. Lane, E. Miluzzo, H. Lu, D. Peebles, T. Choudhury, and A. T. Campbell: A survey of mobile phone sensing, IEEE Communications Magazine, Vol. 48, No. 9, September 2010.
- [3] J. Burke, D. Estrin, M. Hansen, A. Parker, N. Ramanathan, S. Reddy, and M. B. Srivastava: Participatory sensing, Mobile Device Centric Sensor Networks and Applications, In Workshop on World-Sensor-Web (WSW), pp. 117-134, 2006.
- [4] A. H. Lam, Y. Yuan, and D. Wang: An occupant-participatory approach for thermal comfort enhancement and energy conservation in buildings, The 5th International Conference on Future Energy Systems (e-Energy'14), June 2014.
- [5] 篠原 雅貴, 田島 誠也, 中下 岬, 近藤 亮磨, 岩井 将行, "気体情報の時系列解析による集合施設の生活環境・活動状況推測システム", マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, Vol.2014, pp.1892-1897, 2014.
- [6] L. Li, Y. Zheng, and L. Zhang: Demonstration abstract: PiMi air box: a cost-effective sensor for participatory indoor quality monitoring, IPSN'14 Proceedings of the 13th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, pp. 327-328, 2014.
- [7] 上山 芳隆, 玉井 森彦, 安本 慶一, "ユーザ参加型センシングにおけるゲーミフィケーションに基づくインセンティブ機構の提案", 研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), Vol.66, No.12, pp.1-6, 2013.
- [8] M. Demirbas, M. A. Bayir, C. G. Akcora, Y. S. Yilmaz, and H. Ferhatosmanoglu: Crowd-sourced sensing and collaboration using twitter, WOWMOM'10 Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoW-MoM), pp. 1-9, 2010.
- [9] T. Mizukami, K. Naito, C. Doi, T. Nakagawa, K. Ohta, H. Inamura, T. Hishida, and T. Mizuno: Fundamental Design for a Beacon Device Based Unconscious Participatory Sensing System, International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2015, Vol. 2 2015.
- [10] Space-Time Engineering: Scenargie, [Online]. Available: <http://www.spacetime-eng.com/en/products.html>. Retrieved October 2015.
- [11] iBeacon for Developers, <https://developer.apple.com/ibeacon/>, Retrieved October 2014.
- [12] e-Stat, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>, Retrieved October 2016.
- [13] 総務省 情報通信の現況・政策の動向, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/html/nc253120.html>, Retrieved October 2016.
- [14] JMR 生活研究所 イノベーター理論, <http://www.jmrli.co.jp/knowledge/yougo/my02/my0219.html>, Retrieved October 2016.