

長期間動作による無意識参加型センシングの データ取得特性の検証

大村 和徳¹ 菱田隆彰² 内藤克浩² 水野 忠則² 梶 克彦²

概要：スマートフォンの普及に伴いユーザが様々なセンサを搭載したスマートフォンを日常的に所持するようになった。それにより一般ユーザが所持しているスマートフォンを利用した環境情報等の参加型センシングが研究されている。しかし一般的な参加型センシングではユーザに対してスマートフォンの操作が必要なセンシングを依頼するためにコストがかかる問題がある。また、得られるセンサデータもユーザによるバイアスのかかったデータになってしまう可能性があり、有効なセンシングを行えない場合がある。我々はユーザにセンシング参加を意識させない方法として、無意識参加型センシングの提案を行い、プロトタイプの実装を行った。また、シミュレーションによって無意識参加型センシングの有効性の検証も行った。本稿では無意識参加型センシングシステムを長期間動作させ生じる問題点を見つけ出した。また先行研究のシミュレーションによって得られた内容及び今回の実験によって得られた内容から、センシングのデータ取得特性について検証した。その結果、人の流動性がある場合にシミュレーション通り多数のセンシングが実施できた。しかし同じ場所へ滞在し、センシング範囲内にセンシング参加者が留まっている場合に、連続してセンシングが行われてしまう問題点を発見した。

Verification of Unconscious Participatory Sensing System via Long-Term Operation

KAZUNORI OMURA¹ TAKA AKI HISHIDA² KATSUHIRO NAITO² TADANORI MIZUNO²
KATSUHIKO KAJI²

1. はじめに

近年、安価で高精度な多種多様なセンサの普及や様々なセンサを搭載したスマートフォンの普及により、センサデータを取得するためにセンサネットワークや参加型センシングが注目されている [1]。これらのセンサを用いて温度、湿度等の環境センシングを実施できる。また、スマートフォンに搭載されている加速度センサや GPS センサを用いてセンサの継続した設置や多数の設置は難しいが頻繁にユーザが訪れるような場所でのセンシングが可能となり、参加型センシングとして研究されている。

この従来手法の参加型センシングでは、センシングの依

頼者が想定した場所へスマートフォンを持っている参加者が移動し、スマートフォンを操作してセンシングを行うことを想定している。よって、センサを用いた様々なデータを取得できる点や、ユーザの主観に基づくデータを取得できる利点がある。しかし、欠点として一定以上の参加者がセンシングを行う地点に滞在し、参加する必要が挙げられる。この手法の場合にはユーザ自身がセンシングを行っている事を意識してしまうため、それにより生じるバイアスがデータに影響を及ぼしてしまう可能性もある。

センシングで取得するデータには、ユーザの主観に基づくデータを取得する場合 [2] とセンサを用いて数値的に取得可能なデータ [3] の 2 つに大別できると考える。ユーザの主観に基づくデータの場合はユーザに対してアンケートのように五感を用いた回答を依頼するために、ユーザ自身の積極的な参加が必要不可欠となってくる。それに対して、センサを用いて数値的に取得可能なデータであれば、ユー

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 Technology

ザの意識によって数値が変動するのは一般的に好ましくない。更にユーザに対して参加の負担にもなることから、ユーザ無意識下でのセンシングが有効であると考えられる。

このセンサで数値的に取得可能なデータに対して従来の参加型センシングで取得した場合に起こる先述の問題点を解決するため我々は無意識参加型センシングを提案した。ユーザが端末を操作しないユーザ無意識の状況下でのセンシングを実施し、センサデータの収集を行うものである。これにより問題点の解決を図った。

先行研究では実際に無意識参加型センシングのシステムのプロトタイプを作成して動作確認を実施した。また、従来手法の参加型センシングと提案手法とのセンサデータ取得シミュレーションを実施して無意識参加型センシングの特徴、優位性を確認した [4]。そのシミュレーションの結果、人通りが頻繁な場所であれば無意識参加型センシングの優位性が現れ、人通りの少ない場所ではユーザに対して明確に移動を依頼する従来の参加型センシングが有効であることが示された。以上のように、基礎設計、試作、シミュレーションを行って来たが、提案手法のシステムを継続動作した場合に発生する問題点については検証していない。

その中で本稿では先に実施したシミュレーションで得られた結果通りの動作をするか、またセンシングシステムを継続動作させるにあたり、必要な今後の課題を検討するためにシステムの検証を行った。以降第2章では関連技術として従来の参加型センシングについて説明する。第3章では本実験に用いた無意識参加型センシングのシステム及びそれに用いるデバイスについて説明する。第4章で長期間運用を行った実験の概要、方法及び結果について述べる。最後に第5章で結果より得られた事をまとめる。

2. 関連技術

関連技術として参加型センシングがある。参加型センシングはセンシング実施者が参加者に対して場所や時間帯を指定し、センシング参加者は指定された場所や時間帯においてセンシングに参加する手法である [5]。参加者はスマートフォンを用いる等の手段で希望した場所で現在の天気や混雑しているかといった主観的データや、スマートフォンに内蔵してあるセンサや外部のセンサより取得した定量的なデータを用いてセンシングに参加する。

しかし参加型センシングでは、依頼者がユーザに対してセンシング場所へ移動してスマートフォンを操作してもらう手間が発生する。ユーザは手間がかかる動作を嫌い依頼者が想定する参加者が参加してもらえない可能性がある。

また、参加型センシングではユーザがスマートフォンを操作することから、得られるデータにバイアスがかかってしまう可能性が考えられる。例えば個人的な感情に関わるデータの場合には、「より良い状態だ」と報告するなどして、依頼者の希望するようなバイアスのかかっていない

データの取得が出来ない場合がある。

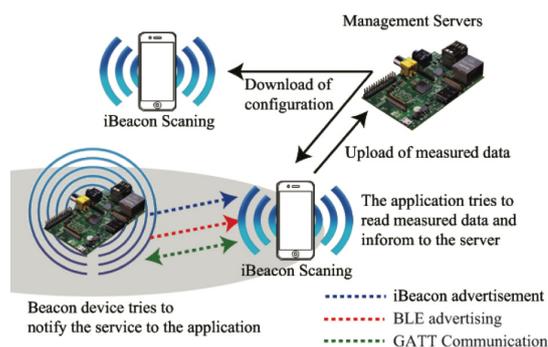


図1 無意識参加型センシングシステム

3. 無意識参加型センシングシステム

先行研究にて提案およびプロトタイプ実装をした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BLE(Bluetooth Low Energy)[6]とiBeacon[7]の技術を組み合わせたセンサデバイスを利用して、ユーザが無意識下でセンシングに参加してもらう技術である。無意識参加型センシングは参加型センシングと違い、ユーザではなくアプリケーションに対してセンシングの実施を依頼する。

センシングを依頼されたスマートフォンはバックグラウンドでセンシングを行う。そのためにセンシングの実施にはセンシングを行いたい場所へ依頼者がセンサデバイスを設置し、そこを通過・滞在したスマートフォンに対してセンシングの参加を依頼する。このため、ユーザに特定の場所への移動を求める必要はない。また、バックグラウンドで動作することからバイアスのかからないセンサデータを取得可能であり、参加型センシングの問題点を解決している。

また、センサデバイスには通信機能を持たせずにスマートフォンにセンサデータの送信を依頼する。これにより、センサデバイスの簡素化及び省電力化が可能であるため、電源や通信環境の設置が困難な場所でのセンシングも可能である。

3.1 システム構成

本研究で用いた無意識参加型センシングシステムでは図1に示すように、BLEとiBeaconの機能を持たせたセンサデバイス、センシング実施のためのユーザの所持するスマートフォン、センサデータを管理する管理サーバによって構成される。以下にそれぞれのデバイス及び役割について述べる。

センサデバイス

図2のようなセンサデバイスとユーザの所持するスマートフォン間の通信にはBLEとiBeaconの技術を用いて実

装した。無意識参加型センシングの特徴として、BLE を用いた技術である iBeacon を用いている点が挙げられる。iBeacon は UUID, Major 値, Minor 値を識別子として所持しており、これらをアドバタイズとして定期的に周囲に送信している。

iBeacon アドバタイズをスマートフォンが受信すると、スマートフォンはあらかじめ登録しているセンシングアプリケーションを起動する。また、Major 値, Minor 値はセンシングアプリケーションで利用することができるため、今回はセンシング場所の識別にこれらの値を用いた。

また、センサデバイスは温湿度センサや照度センサといった物理的なセンサを搭載している。これらの搭載したセンサを用いることでスマートフォンのセンサを用いる場合と比べ高精度のデータを得ることができる。センサデバイスは搭載したセンサのセンサ値を BLE の GATT 通信を用いてスマートフォンへ転送する。

加速度といったスマートフォンを持つユーザによるデータのセンシングを行う場合や、搭載センサとの両方のデータを組み合わせる場合でも、スマートフォンが iBeacon 受信後にスマートフォン自身のセンサを用いてセンシングを行えるため、このセンサデバイスを用いてセンシングシステムを構築可能である。

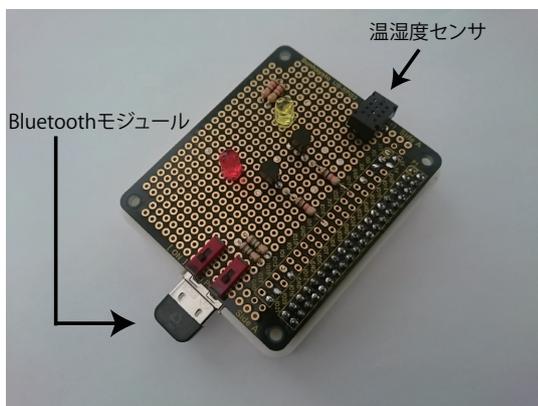


図 2 センサデバイス

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はセンサデバイスの探索を行い、センサデバイスと BLE 接続してセンサデータの取得を行う。その後センサデバイスより得られたセンサデータを管理サーバへ送信しセンシングを終了する。

センサデバイスから送信される iBeacon を、iOS 搭載スマートフォンは OS レベルで受信し、UUID で関連付けられたアプリケーションをスリープ状態であってもバックグラウンドで起動しセンシングを実施する。このため、スマートフォンは iBeacon を受信するためにセンシングアプリケーションを常に起動している必要は無い。

また、通常にスマートフォンを利用している場合にも

OS はアプリケーションの起動を行い、スリープ状態から起動した場合と同様にバックグラウンドでセンシングアプリケーションの起動及びセンシングを実施する。これによりユーザに意識させることなくセンシングへ参加できる。

管理サーバ

管理サーバはスマートフォンがセンサデバイスより取得したセンサデータの保存を行う。iBeacon で用いられる UUID, Major, Minor といった識別子と共にセンサデータを保存するためのデータベース機能を持たせる。これにより、どのセンサデバイスのデータを取得したのか識別可能にしている。また、センサデバイスの管理の必要性も発生する。この際管理サーバにはセンサデバイス毎に UUID, Major, Minor, 設置場所などの情報を保存する。これによりセンサデバイスとセンシング結果の紐付けが可能である。

3.2 センシング動作手順

センシング全体は以下のように推移して行われる。

- (1) センシングアプリケーションは、検出するべきセンサデバイスの情報を管理サーバから取得する。
- (2) センサデバイスは iBeacon アドバタイズを行いスマートフォンからの接続を待機する。この時、iBeacon アドバタイズと BLE アドバタイズは同一技術を用い、排他利用のため時間毎に切り替えてそれぞれのアドバタイズを実施する。
- (3) センシング参加者が所持するスマートフォンはセンサデバイスより発せられる iBeacon アドバタイズを受信し、センシングアプリケーションを起動する。iOS の場合には Core Bluetooth の機能を利用し、iOS 搭載デバイスがスリープ状態の場合でも OS 側によりセンシングアプリケーションの起動が行われる。この際、受信した iBeacon アドバタイズがセンシング対象デバイスかどうかは管理サーバから取得したデータに基づく。
- (4) 起動したセンシングアプリケーションはバックグラウンド動作で BLE アドバタイズの探索を行う。
- (5) この間センサデバイスは iBeacon アドバタイズを BLE アドバタイズに切り替え、センシングアプリケーションからの接続を受け入れる。
- (6) BLE アドバタイズを検出したセンシングアプリケーションはセンサデバイスに対して接続を要求し、BLE の GATT プロファイルのキャラクタリスティックに格納されているセンサデータの取得を行う。
- (7) センシングアプリケーションは管理サーバに対してセンシング結果の送信を行う。
- (8) 管理サーバはセンシングアプリケーションに対してセンシング完了の通知を行う。
- (9) センシングアプリケーションはセンサデバイスとの接続を解除する。また、必要に応じてセンシング完了通

知を送信してから接続を解除する。

(10) センシング完了通知を受け取ったセンサデバイスは消費電力削減、過剰なセンシングを抑えるために必要に応じて一定時間スリープ状態に遷移する。

(11) その後センサデバイスは再び (1) から繰り返し行う。

4. 長期間運用実験

長期間運用した場合における問題点を検証するために、センサデバイスを1ヶ月程度設置し、先行研究で作成した熱中症対策アプリケーション Enverch[8] を用いたセンシングを行った。センサデバイスの設置は、人がよく訪れる場所として研究室 A、校流動性のあるとして舎の玄関から研究室 A までの間にある階段の下、人があまり訪れず流動性もない

4.1 実験設定

実験では学生の iPhone 及び iPodTouch に Enverch をインストールして、普段通りの行動を行ってもらった。図6は Enverch をインストールした状態であり、左の画像の左下に表示される小さなアイコンはバックグラウンドで動作している状態を示している。

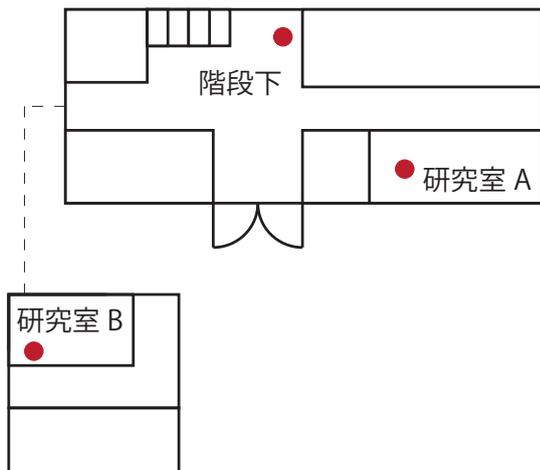


図3 研究室 A と階段下のビーコン配置図



図4 研究室 A に設置センサデバイス



図5 階段下に設置したセンサデバイス



図6 熱中症対策アプリケーション enverch

センサデバイスは RaspberryPi で構築し、温湿度センサ及び Bluetooth モジュールを搭載して環境情報の取得を行った。Bluetooth のパッケージとして BLeno[9] を用い、iBeacon アドバタイズを 100 ミリ秒毎に実施した。

センサデバイスは 3 台設置し、センシング領域の設定を行った。研究室 A、研究室 B と階段下を想定し、図4と図5に、それぞれ研究室 A と階段下に設置したセンサデバイスの画像を示す。図3で示すように研究室 A と階段下は設置距離が近い。また、玄関から入って研究室 A まで移動する過程で、階段下に設置したセンシング領域を通過するようになっている。研究室 B は研究室 A と別の棟となっており、人はあまり訪れず、流動性もない場所となっている。センサデバイスは BLE 通信がどの程度終了したのかを識別するため、スマートフォンから接続を受けた後にその後の通信履歴を端末内に保持する。また、今回は多数のデータを取得し検証する実験であることから、センシング後にスリープへ遷移せず、そのまま iBeacon アドバタイズの継続を行った。

実験に用いたセンシングアプリケーションは iOS8.4 から 9.2 を対象に作成した。よって、センシングの端末としては iPhone4s から 6s, 及び iPodTouch を対象にした。通

信経路による影響を検証するために iPhone では 3G または 4G を用い、iPodTouch では Wi-Fi 回線を用いてセンサデータをサーバへ転送した。センシングアプリケーション側でもセンシングの進捗具合を調べるために、センシングが終了した後または途中でセンシング範囲外に出て情報取得ができなかった場合に、管理サーバに対してイベントが発生したタイムスタンプと共に履歴を送信する。

4.2 実験結果

本研究では提案した無意識参加型センシングに置いてセンサデバイスを 1 ヶ月程度の間継続動作して先行研究のシミュレーション [4] で得られた情報を踏まえた検討や様々な問題点の発見及びセンシングで得られるデータの特性を調査した。

まず、各センサデバイス設置場所毎のセンシング実施数に対するセンサデータ取得率を図 7 に示す。これはセンサデータがデータベースに登録された時点で成功、センシングを実施しようと接続したがデータベースに登録出来なかった場合を失敗としている。研究室 A 及び研究室 B と比較して階段下の成功率が低い。これは iPodTouch の場合は移動しているために Wi-Fi がセンシング途中で切断されているためと考えられる。階段下全体としてはセンシング開始後に範囲外に出た可能性もあり低くなっている。研究室 A 及び B の場合は滞在しているため取得率が高くなっていると考えられる。

また図 8 から図 10 までのグラフより滞在が多い研究室 A のセンサデータ取得状況が多くなっている。また、階段下では成功率が低かったために取得数も研究室 A と比較して少なくなっていると考えられる。研究室 B では学生の滞在及び流動が非常に少なかったために限定的なデータ取得になっている。

得られた問題点として研究室 A にセンシング参加者が同一箇所へ滞在してしまった場合に、数分間隔でセンシングを繰り返してしまった事が挙げられる。図 11 は同一場所へ長時間滞在した際に同一端末からセンシングが行われた間隔を示したグラフである。iOS 側スマートフォンが同一箇所へ滞在していることから、iBeacon の受信できるセンシング範囲内から外へは出ていない。原因として端末がセンシングを実施するために BLE 接続を行い、iBeacon アドバタイズが行われないことが考えられる。iBeacon は BLE の技術を用いているために、iBeacon アドバタイズと BLE 通信は排他利用となっている。このことから、スマートフォン A がセンシング後にスマートフォン B が BLE 接続を行って通信中にスマートフォン A が iBeacon 範囲外に出たと誤認識する。その後再び、スマートフォン A が iBeacon を受信した際にセンシングを開始している原因の 1 つとして考えられる。この場合スマートフォンがセンシングを行った後にセンサデバイスに対して完了通知を行

い、センサデバイスをスリープへ遷移させる方法が解決策として考えられる。

また、階段下と研究室 A のように近距離で複数のセンサデバイスがある場合があげられる。今回の場合は校舎が鉄筋コンクリート製の構造物であり、それぞれのセンサデバイスが極近距離ではなかったため、研究室内で階段下のセンサデバイスのセンシングが行われることは無かった。しかし、研究室の出入り口を出た場所であると、両方の iBeacon アドバタイズを受信し、センシングの実施を確認した。この際、iBeacon アドバタイズは 100 ミリ秒毎に行われることから、アドバタイズを先に受信を行えたセンサデバイスに対してセンシングを行っていると考えられる。

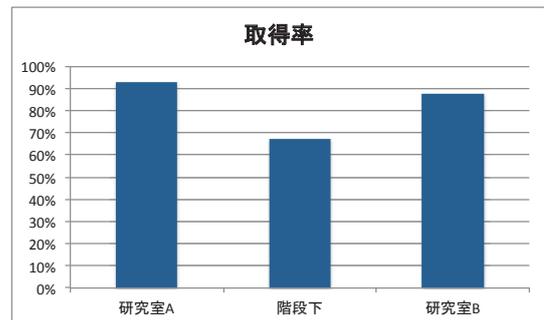


図 7 センシング実施に対する取得率

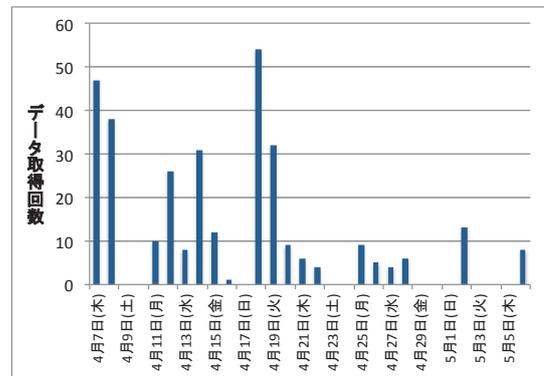


図 8 研究室 A の日別センサデータ取得状況

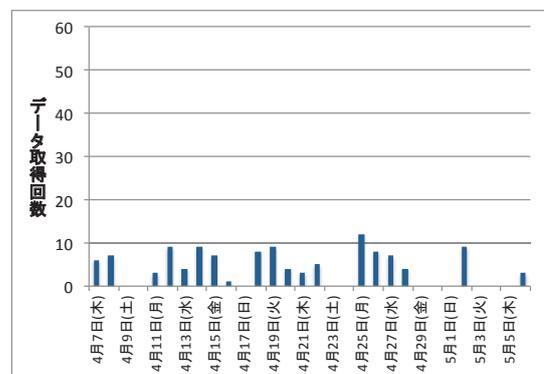


図 9 階段下の日別センサデータ取得状況

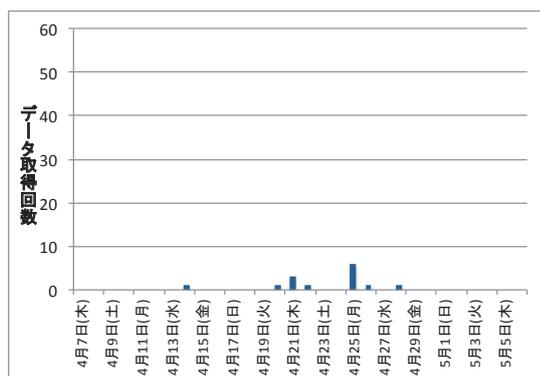


図 10 研究室 B の日別センサデータ取得状況

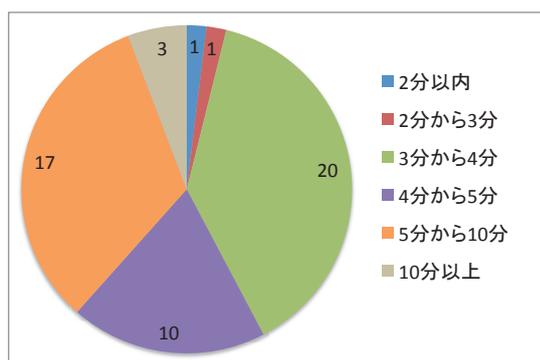


図 11 5時間滞在した時のセンシング間隔

5. おわりに

本研究では提案した無意識参加型センシングにおいて、センサデバイスを1ヶ月程度の間継続動作させ先行研究のシミュレーションで得られた情報を踏まえた検討や、様々な問題点の発見及びセンシングで得られるデータの特性があるか調べた。

先行のシミュレーションでは大通りや人の流動性が高いほうがより有効的にセンシングが行えることを示しており、道が狭い場合や人の流動性が低い場合にはユーザが訪れないために場所の指定及び移動を求める従来の手法が有効と示していた。今回の実験結果では人の流動性がある場所のほうがセンシングを実施できるということを検証できた。また、人の流動性がない研究室 B に設置したセンサデバイスでは限られた回数だけのセンシングとなり、こちらもシミュレーションで得られた情報から想定できる程度のセンシング回数であった。

その結果、同一箇所へ長時間滞在した場合と同じ端末が何度もセンシングをしてしまう問題点が明らかになった。これを解決するためにはセンサデバイスをスリープ状態へ遷移させる方法が挙げられる。しかし、センサデバイスから得られる情報とスマートフォン自身の情報を組み合わせて利用する場合、センサデバイスをスリープへ遷移させてしまえば、十分な回数のセンシングが行われなくなってしまう事が考えられる。また、今回の実験で用いた iPod のようにモバイルネットワークに接続していない端末を用

いてセンシングに参加しようとするユーザがいる場合には正しくセンシングが行えない可能性があることを明示する必要があると考えられる。

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] 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.
- [3] 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.66, No.12, pp.1-6, 2013.
- [4] 水上 貴晶, 堀 将之, 古謝 佑次, 土井 千章, 太田 賢, 稲村 浩, 梶 克彦, 内藤 克浩, 菱田 隆彰, 水野 忠則: 無意識参加型センシングの有効性の検証, 情報処理学会研究報告, モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), Vol.2016-MBL-78, No. 9, pp.1-6(2016.2).
- [5] J. Burke, D. Estrin, M. Hansen, A. Parker, N. Ramanathan, S. Reddy, and M. B. Srivastava. Participatory sensings, Mobile Device Centric Sensor Networks and Application. In Workshop on World-Sensor-Web (WSW), pp. 117-134, 2006.
- [6] Bluetooth Low Energy <http://Bluetooth.com>, Retrieved May 2016.
- [7] iBeacon for Developers <https://developer.apple.com/ibeacon/>, Retrieved May 2016.
- [8] 河合亮太, 河南光, 大村和徳, 水上貴晶, 梶克彦, 内藤克浩, 菱田隆彰, 水野忠則: 無意識参加型センシングによる熱中症対策システムの提案と開発, 情報学ワークショップ 2015 (WiNF2015), pp.207-211(2015.12).
- [9] A Node.js module for implementing BLE (Bluetooth Low Energy) peripherals <https://github.com/sandeepmistry/bleno>, Retrieved May 2016.