

# センサ主導の無意識参加型センシングシステムの基礎設計

水上 貴晶<sup>1</sup> 内藤 克浩<sup>2,a)</sup> 土井 千章<sup>3</sup> 中川 智尋<sup>3</sup>  
太田 賢<sup>3</sup> 稲村 浩<sup>3</sup> 菱田 隆彰<sup>2,b)</sup> 水野 忠則<sup>2,c)</sup>

## 概要：

近年、センサネットワークと携帯端末を利用した参加型センシングにより、高密度、広範囲の情報を取得する事が可能となった。参加型センシングでは、システムが一般ユーザにセンシング行為を依頼することにより成り立つため、多数のユーザ参加が重要となる。しかし、多くのユーザが意識的にセンシング行為に参加することを好むとは限らないため、実用的なシステムを構築するためには課題がある。本稿では、従来の参加型センシングでユーザに要望された意識的なセンシング行為が発生しない、新たな無意識参加型センシングモデルの提案を行う。提案システムでは、測定場所に設置される多数のビーコンデバイスと多数のスマートフォンの存在を想定しており、各ビーコンデバイスが自身の近傍に存在するスマートフォンを必要なタイミングで探索する。また、スマートフォン上の専用アプリケーションが、各ビーコンデバイスからの要求に応じてデータの収集とサーバーへの通知をバックグラウンド動作で行うことにより、ユーザの関与なしに広範囲のデータ収集を実現する。提案システムでは、専用アプリケーションの探索技術として Bluetooth Low Energy (BLE) 上で動作する iBeacon の機能を活用する。また、データ収集には通常の BLE のデータ交換機能を用いる。提案システムの利点は、BLE を想定したセンサ機器を想定しているため、安価かつ省電力のデバイス開発が可能となる。また、iBeacon を活用することにより、専用アプリケーションがバックグラウンド動作することによる電力消費を大幅に削減可能な点がある。さらに、提案システムではユーザが意識的にセンシング行為を行う必要がなく、専用アプリケーションのインストールのみで済むため、より多くのユーザのシステムへの参加が見込めると考えられる。

## 1. はじめに

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]。また、センシングデバイスとして、高機能センサを持つスマートフォンを活用する参加型センシングに対する研究が近年行われている [2], [3], [4]。参加型センシングでは、一般ユーザが自主的にシステムに参加することを想定しており、システムからユーザに何らかのセンシングを依頼し、依頼に応じて一般ユーザがセンシング処理を行い、報告を行うシステムである [5]。このように、センシング処理にユーザ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、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人による評価が必要な抽象的な事象を収集する場合 [6] と、センサなどを用いて定量的に測ることが可能な事象を収集する場合 [7], [8] がある。抽象的な情報の収集では、センサでは

取得が困難な情報を取得することができる一方で、ユーザが自主的にセンシング処理に関与する必要がある。そのため、多くの研究において、ユーザ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 [9], [10]。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する手法なども提案されている [11]。そして、これらの情報はユーザのプライバシー情報と大きく関係するため、プライバシーの確保と情報収集を両立する研究も行われている [12], [13]。上記のように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、一般ユーザを想定したシステムとまでは確立できておらず、参加型センシングに興味を持つ一部のユーザを想定している状況である。

さらに、定量的に測ることが可能な事象を対象とした場合、ユーザのスマートフォンを利用する必要はあるが、測定自体はセンサを利用することとなる。そのため、システムから依頼を受けたユーザは、測定対象の場所に移動し、スマートフォンの内蔵センサで情報を取得することとなる。しかし、現実的なセンシングを考えた場合、スマートフォンに内蔵されている、温度、気圧、照度などのセンサは、スマートフォンの機種が異なる場合、実装しているセンサの精度及び実装環境が異なることが予想される。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、異

<sup>1</sup> 愛知工業大学大学院 経営情報科学研究科

<sup>2</sup> 愛知工業大学 情報科学部

<sup>3</sup> 株式会社 NTT ドコモ

a) naito@pluslab.org

b) hishida@aitech.ac.jp

c) mizuno@mizulab.net

なるスマートフォンでは、異なる測定値が得られることが考えられる。そのため、スマートフォンの内蔵センサで利用可能なものは、加速度などの比較的機種の違いに影響を受けない値に限定されると予想される。結果として、特定の環境測定などを行う際には、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 [14]。

本稿では、測定場所に設置するビーコンデバイスが近隣スマートフォンを探索する、新たな無意識参加型センシングを提案する。提案システムでは、ビーコンデバイスが専用アプリケーションを導入したスマートフォンを探索し、ビーコンデバイスが持つセンサ又はスマートフォンの内蔵センサを用いてセンシングを行い、スマートフォンの回線を利用してサーバーにセンシング値を報告する。これらの動作は、スマートフォン上の専用アプリケーションがバックグラウンドで処理を行うため、ユーザが測定に関与する必要がない。そのため、ユーザがセンシング処理を意識する必要がない、無意識参加型センシングを実現可能と考える。

具体的には、ビーコンデバイスとスマートフォン間の通信に Bluetooth Low Energy (BLE)[15] を利用することにより、通信で消費する電力の削減を行う。また、ビーコンデバイスに設定されたコンテキストに応じて、ビーコンデバイスが近隣スマートフォンを探索するメカニズムを採用することにより、専用アプリケーションがバックグラウンドで定期的にビーコンデバイスを探るために必要となる電力を削減する。そして、ビーコンデバイスを発見したスマートフォンが、測定値をサーバーに転送することにより、提案システムは所望の情報収集を実現する。

## 2. 関連技術

### 2.1 BLE

BLE は Bluetooth Special Interest Group (SIG) により策定された省電力を目的とした 2.4GHz 帯を利用する近距離無線通信規格である。BLE は、Wibree から派生した規格のため、Bluetooth 3.0 までの規格との互換性はない。具体的には、チャンネルの数を 79 本から 40 本に半減させることにより、周波数精度の要求を下げ、40 本あるチャンネルのうち 3 本を Advertise Channel として予約している。デバイスの検出は、Advertise Channel のみを利用することにより、デバイス検出の時間を短縮している。

図 1 は BLE の構成要素であり、サービスを提供するペリフェラルと、サービスを受けるセントラルで構成される。ペリフェラルは定期的に Advertise Channel を用いて、自身のサービスをブロードキャストすることにより、セントラルはペリフェラルとペリフェラル上で提供されるサービスの検出が可能である。

また、Bluetooth では、ヘッドセットなどの応用プロファイルが予め定められてきた。Bluetooth 4.0 では、アトリビュートと呼ばれる、オブジェクト単位の「GET/SET」を

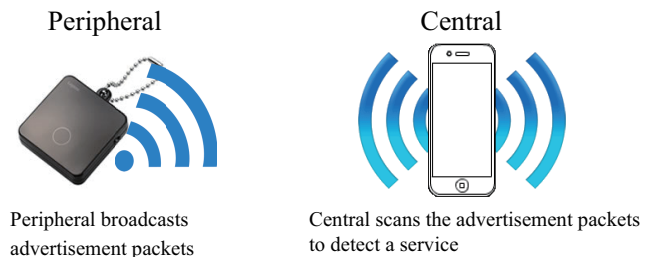


図 1 Bluetooth Low Energy

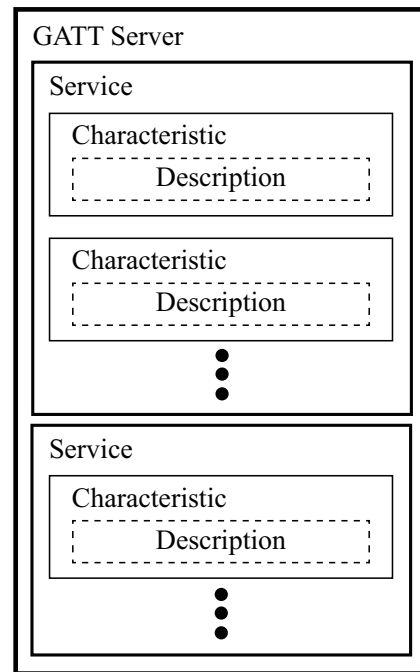


図 2 GATT data hierarchy

基本操作単位とする通信仕様が新たに導入されている。アトリビュートの基本プロトコルを Attribute Profile(ATT) と呼び、アトリビュートの組み合わせで特定のサービスを記述する体系を Generic Attribute Profile(GATT) と呼ぶ。BLE では、規格として GATT のみを定義しており、デバイス中に複数の「サービス」があり、その中には複数の「キャラクタリスティック」がある形式である。また、実際のデータの送受信は、キャラクタリスティックに対する読み書きとして行われる。

サービスやキャラクタリスティックの種類は、Bluetooth SIG が標準として定義したもの他に、デバイス開発者が独自に定義することが可能なため、柔軟な設計が可能である。図 2 は GATT におけるデータ構造を示した物であり、複数のサービス内に複数のキャラクタリスティックを定義することにより、任意のデータを読み書き可能である。

### 2.2 iBeacon

iBeacon は Apple 社により提案が行われた、BLE を利用した近接位置計測法の一つである。そのため、iBeacon は主に iOS 系で実装が多数進められており、iOS7 以降では標準の位置情報サービスとして実装が行われている。また、

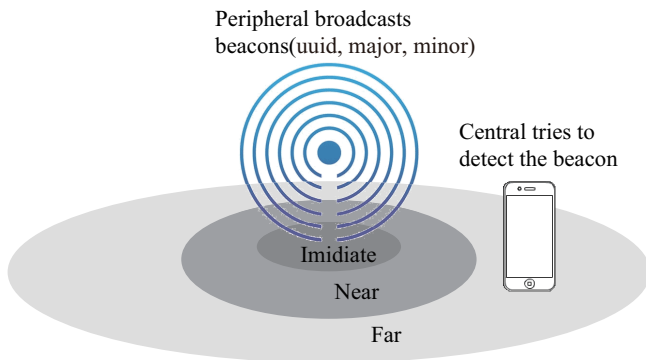


図 3 iBeacon

近年の iOS 系デバイスは BLE を内蔵していることから、多くの iOS 環境において利用が可能である。一方、Android 系デバイスでは、一部の機種のみが BLE を内蔵している状況であるが、Android4.3 から BLE が対応したこともあり、近年は iBeacon 用のライブラリも開発されつつある。そのため、近い将来には、iOS だけではなく、Android 系のスマートフォンでも iBeacon は利用可能になると予想される。

図 3 は iBeacon のシステムモデルを示し、ビーコンを送信するペリフェラルと、ビーコンを検出するセントラルにより構成される。iBeacon の大きな利点として、各アプリケーションがビーコン検出を試みるのではなく、ビーコン検出は必要に応じて OS が一括して行う設計となっている。これは、各アプリケーションがビーコン検出を行う場合には、消費電力が大きくなることが予想されるためである。OS にビーコン検出を依頼するためには、アプリケーションがペリフェラルを特定するための情報を登録することにより、該当ペリフェラル検出時には、自身のアプリケーションへの通知を受けることができる。ペリフェラルを一意に識別するため、iBeacon では 3 種類の情報 (UUID、メジャーコード、マイナーコード) が定義されている。なお、UUID は RFC4122 で規定されており、メジャーコード、マイナーコードは各 16 ビットである。また、これらの識別子の情報は重複しないように、別途管理が必要である。

iBeacon はブロードキャスト型のサービスではあるが、ビーコンの送信電力を調整することにより、セントラルがペリフェラルを検出される領域を調整することが可能である。また、セントラルはペリフェラルからのビーコン受信強度を測定しており、近接、近傍、遠方の 3 レベルを取得可能である。アプリケーションは、これらの距離情報を利用することにより、特定のビーコン検出可能エリアへの出入りに応じた動作が可能である。

### 3. 無意識参加型センシング

#### 3.1 システム概要

安価かつ省電力型のセンサ及び通信機器が開発されたことにより、様々な場所を容易にセンシングすることが可能になりつつある。一方、センシングされた情報収集を考

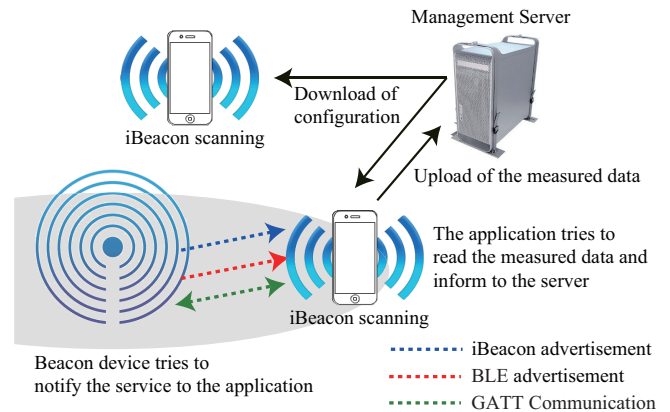


図 4 Unconscious participatory sensing system

えると、何らかの通信回線が必要となり、設置への大きなハードルとなっている。提案システムでは、近距離通信機能とセンシング機能を持つ多数のビーコンデバイスと多数のスマートフォンを想定し、各ビーコンデバイスを測定対象の場所に設置することを想定している。また、ビーコンデバイスは近隣のスマートフォンを適時探索することにより、発見したスマートフォンの回線を利用して測定値を報告する。既存の参加型センシングとの大きな違いは、特定のユーザに情報取得を依頼するのではなく、ビーコンデバイス側から近隣スマートフォンにセンシング及びデータ収集を依頼する点である。上記の通り、センシング及びデータ収集を依頼する視点を変更することにより、以下の利点が生まれると考える。

- 同一センサを利用する定点観測が容易に実現可能
- 特定の場所の継続的な測定を実現可能
- 個々の機器向けの通信回線の準備が不要
- ユーザの位置などのプライバシー情報が不要
- センシング依頼で必要となるトラヒックが不要
- ユーザの積極的なセンシング行為が不要

図 4 に提案する無意識参加型センシングシステムの概要図を示す。提案システムは、BLE の通信機能と iBeacon の機能を持つビーコンデバイス、iBeacon を検出可能なスマートフォン OS 上のデータ収集アプリケーション、ビーコンデバイスを管理し、データ収集を行う管理サーバーにより構成される。各機器は以下の機能を持つ。

- ビーコンデバイス  
 ビーコンデバイスの大きな機能は、近隣のスマートフォン上のアプリケーションを iBeacon の機能を用いて呼び出し、アプリケーションに自身のビーコンデバイスを検出させることである。また、アプリケーションがビーコンデバイスを検出後は、ビーコンデバイスの正当性をハッシュ値から確認することにより、対応する動作をアプリケーションに依頼する。提案システムでは、ビーコンデバイスが持つセンサ値を BLE を用いて取得する場合と、スマートフォンの内蔵センサを用いて測定を行う場合を想定する。なお、ビーコ

ンデバイスは予め決められたルールに乗っ取り、センシングの動作を行う。例えば、一定回数のセンシング動作を終えた後、無線デバイスを起動することにより、近隣スマートフォンを呼び出すなどの動作が可能である。

#### ● データ収集アプリケーション

データ収集アプリケーションの機能は、ビーコンデバイスの探索、データ収集又は測定、管理サーバーへの通知に大別される。一般にビーコンデバイスを常時探索することに伴う消費電力は無視できない量であり、提案システムでは、iBeacon の枠組みを用いることにより、バックグラウンド動作を用いて省電力のビーコンデバイスの探索を試みる。また、管理サーバーから予め取得している測定手順に乗っ取り、ビーコンデバイスの測定データの取得又はスマートフォンの内蔵センサを用いた測定を行う。最終的には、測定データを管理サーバーに通知することにより、待機状態に戻る。これらの動作はユーザが関与する必要はないため、ユーザが特別な意識をせずに、参加型センシングに貢献可能である。

#### ● 管理サーバー

管理サーバーの機能は、ビーコンデバイスの情報管理とデータ収集である。iBeacon では UUID、メジャーコード、マイナーコードの識別子を用いることから、データ収集アプリケーションが、どの識別子を用いて通知を待ち受けるべきなのか管理を行う。また、各識別子を検出した際の、測定手順を予め管理することにより、データ収集アプリケーションの挙動を管理する。さらに、データ収集アプリケーションから通知される測定データを保管する。

### 3.2 事前設定

提案システムでは、データ収集アプリケーションが所望のビーコンデバイスを探索するために、iBeacon の識別子を予め定める必要がある。一般的な iBeacon の運用では、各ビーコンには異なる識別子を割り当てることが多いが、提案システムのように多数のビーコンの設置を想定する場合、すべてのビーコンの識別子を OS に登録することは現実的ではない。そこで、センシングの種類に応じて識別子を定義することにより、同一のセンシングを行うビーコンデバイスは、同一の識別子を利用することを想定する。

データ収集アプリケーションは、自身が収集に参加してもよいセンシングサービスに登録を行う際に、関係する iBeacon の識別子を管理サーバーから取得する。また、取得した識別子を OS に登録することにより、データ収集アプリケーションは自身がスキューニングを行うことなく、目的とする識別子を通知するビーコンデバイスを検出可能となる。

### 3.3 ビーコンデバイスによるデータ収集アプリケーションの探索

提案システムでは、ビーコンデバイスが通信回線を必要とする際に、自律的に iBeacon の機能と BLE の機能を作動させることにより、近隣に存在するデータ収集アプリケーションの探索を行う。そのため、iBeacon のメッセージとして、BLE Advertise Packet が送信されることにより、識別子である UUID、メジャーコード、マイナーコードがビーコンデバイス周辺にブロードキャストされる。また、BLE のメッセージとして、BLE Advertise Packet が iBeacon のメッセージとは別途送信されることにより、サービス識別子がビーコンデバイス周辺にブロードキャストされる。

データ収集アプリケーションは、ユーザの関与がなければ通常はスリープ状態となっており、BLE のサービス識別子を含む BLE Advertise Packet の受信処理は行わない。一方、データ収集アプリケーションが OS に iBeacon の識別子を登録している場合、OS がアプリケーションに代わり、iBeacon の BLE Advertise Packet の受信処理を代行する。また、アプリケーションが登録した識別子に対応する iBeacon の BLE Advertisement Packet を受信した場合には、OS がアプリケーションに通知を行う。

### 3.4 データ収集アプリケーションによるデータ取得

iOS では、アプリケーションに通知が届いた場合、スリープ状態のアプリケーションも一定時間は処理を行うことが可能となる。そのため、データ収集アプリケーションは、即座に BLE の Advertisement Packet の受信処理を開始することにより、ビーコンデバイスの検出を試みる。

データ収集アプリケーションが BLE の Advertisement Packet を受信した場合、iBeacon により通知されたビーコンデバイスと同一であるのかを確認し、該当ビーコンデバイスの場合には、通信を開始する。データ収集アプリケーションは、管理サーバーから取得すべきデータの情報を取得しているため、該当するサービスのキャラクターリスティックの値を取得する。また、必要に応じて、データ収集アプリケーションが動作するスマートフォンの内蔵センサを用いてデータの取得を行う。データ収集アプリケーションは、すべてのデータ取得終了後、収集データを管理サーバーへ通知を行う。最後に、データ収集アプリケーションは、収集データの管理サーバーへの通知に成功したことを、ビーコンデバイスにキャラクターリスティックの値として書き込み、通信を切断する。

### 3.5 動作例

図 5 は提案システムのメッセージ交換手順を示す。また、各手順について、以下に説明する。

- (1) 一般ユーザは提案システム専用のデータ収集アプリケーションをスマートフォンにインストールし、iBeacon と BLE に関するアクセス権を与える。
- (2) データ収集アプリケーションは、管理サーバーから

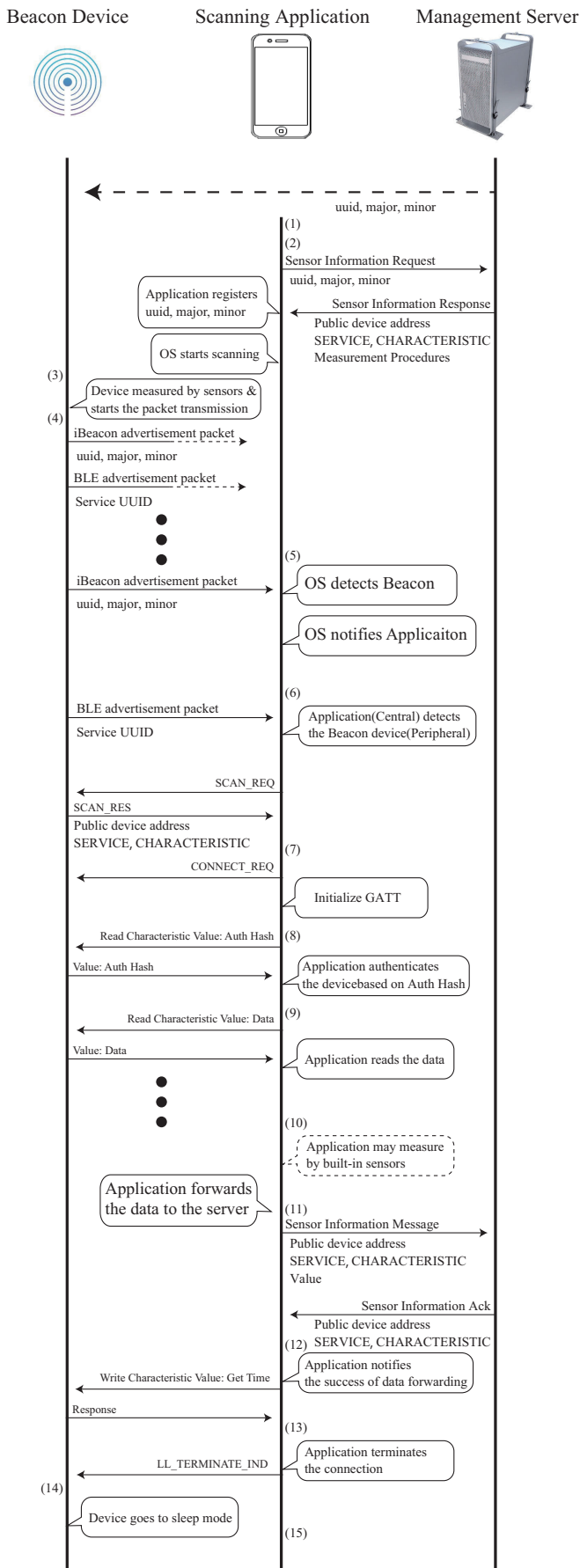


図 5 Message signaling

- データ収集対象のビーコンデバイスの情報を取得し、OS の iBeacon 通知機能に登録を行う。
- (3) ビーコンデバイスは、予め設定されたルールに従い、測定を開始する。
  - (4) ビーコンデバイスは、予め設定されたルールに従い、近隣のスマートフォンの探索を行う。この際、iBeacon と BLE の Advertise 処理が開始される。
  - (5) データ収集アプリケーションが iBeacon の検出範囲に移動した際、OS はデータ収集アプリケーションにビーコンデバイスの情報を通知する。
  - (6) データ収集アプリケーションは、バックグラウンド処理により、所望のビーコンデバイスの探索を行う。
  - (7) データ収集アプリケーションは、発見したビーコンデバイスに接続する。
  - (8) データ収集アプリケーションは、ビーコンデバイスから認証用ハッシュ値を取得することにより、所望のビーコンに接続しているのか確認を行う。これは、iBeacon のビーコン情報は偽造が可能であるためである。
  - (9) データ収集アプリケーションは、ビーコンデバイスから所望のデータを収集する。
  - (10) データ収集アプリケーションは、必要に応じて自身の内蔵センサを用いてデータを収集する。
  - (11) データ収集アプリケーションは、収集したデータを管理サーバーに通知する。
  - (12) データ収集アプリケーションは、ビーコンデバイスに対して、収集したデータを管理サーバーに通知し終わったことを伝えるため、データ収集時刻のサービスに情報を書き込む。
  - (13) データ収集アプリケーションは、データを収集したビーコンデバイスとの通信を切断する。
  - (14) ビーコンデバイスは、データ収集が無事に終了したことを確認した後、次の測定までスリープ状態に移移する。
  - (15) アプリケーションは、OS の機能により自動的にスリープ状態に移移する。

## 4. 実装計画

### 4.1 ビーコンデバイス

提案システムの最終的な目的は System-on-a-chip (SoC) などを利用した低消費電力の BLE モジュールを想定しているが、初期の検証では自由度の高い ARM を利用したマイコンボードである Raspberry Pi の利用を想定している。現在、Raspberry Pi 上に Linux をインストールした上で、Bluetooth を制御するための Bluez[17] と呼ばれるプロトコルスタックを用いて、iBeacon の Advertise を実現できることを確認済みである。

### 4.2 データ収集アプリケーション

データ収集アプリケーションは BLE と iBeacon を利用する必要がある。現在、Nexus5(Android 4.4) を用いたア

アプリケーション開発を実験的に進めており、iBeaconのAdvertiseを検出できることは確認済みである。一方、Android OSではOSレベルのiBeaconの対応が行われていないこともあり、ビーコン受信で必要となる消費電力を削減するためには、OSレベルのiBeaconの対応が行われているiOSの利用が適している。そのため、今後はiOSアプリケーションとして、データ収集アプリケーションの開発を進める予定である。

### 4.3 管理サーバー

管理サーバーの機能は、ビーコンデバイスの識別子とコンテキストの情報管理、取得データの保管に大別される。これらの情報は異なるデータベースとして実装を行う予定である。また、データベースへのアクセスは、Hypertext Transfer Protocol (HTTP) により容易に実現できることから、データベースサーバーであるMySQL[18]とウェブサーバーであるApache[19]を組み合わせることにより実現する予定である。

## 5. まとめ

本稿では、参加型センシングの新たな試みとして、センサを主体として、近隣のスマートフォンを通信回線として活用する、無意識参加型センシングシステムの基礎設計を提案した。提案システムはBLEの機能を活用したものであり、安価かつ長時間稼働が可能なビーコンデバイスを容易に実現可能である。また、BLE上で実現されるiBeaconの機能を活用することにより、スマートフォン上で稼働するデータ収集アプリケーションによるビーコンデバイス探索で必要となる電力も大幅に削減可能であり、ユーザの資源を過剰に浪費することなく、ユーザの通信資源を活用可能である。さらに、提案システムでは、多数のセンサと多数のスマートフォンを前提としたシステムであり、既存の参加型センシングと比較して広域情報のセンシングを行うことが、より容易になると考えられる。今後は提案システムのプロトタイプ実装を進めることにより、実現可能性をより明確にする予定である。

### 参考文献

- [1] F. Viani, P. Rocca, G. Oliveri, and A. Massa: Pervasive remote sensing through wsns, The 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), pp. 49–50, March 2012.
- [2] N. D. Lane, S. B. Eisenman, M. Musolesi, E. Miluzzo, and A. T. Campbell: Urban sensing systems: opportunistic or participatory?, The 9th workshop on Mobile computing systems and applications, HotMobile '08, pp. 11–16, 2008.
- [3] Nicholas D. Lane, Emiliano Miluzzo, Hong Lu, Daniel Peebles, Tanzeem Choudhury, Andrew T. Campbell: A survey of mobile phone sensing, IEEE Communications Magazine, Vol. 48, No. 9, September 2010.
- [4] P. Mohan, V. N. Padmanabhan, R. Ramjee: Nericell: rich monitoring of road and traffic conditions using mo-

- bile smartphones, The 6th ACM conference on Embedded network sensor systems (SenSys '08), November 2008.
- [5] J. Burke, D. Estrin, M. Hansen, A. Parker, N. Ramanathan, S. Reddy and M. B. Srivastava: In Workshop on World-Sensor-Web (WSW), Participatory sensing, Mobile Device Centric Sensor Networks and Applications, pp. 117–134, 2006.
- [6] D. Wang, M. T. Amin, S. Li, T. Abdelzaher, L. Kaplan, S. Gu, C. Pan, H. Liu, C. C. Aggarwal, R. Ganti, X. Wang, P. Mohapatra, B. Szymanski, H. Le: Using Humans as Sensors: An Estimation-theoretic Perspective, The 13th international symposium on Information processing in sensor networks (IPSN '14), pp. 35–46, 2014.
- [7] M. Budde, R. E. Masri, T. Riedel, and M. Beigl: Enabling Low-Cost Particulate Matter Measurement for Participatory Sensing Scenarios, The 12th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM '13), December 2013.
- [8] B. Hull, V. Bychkovsky, Y. Zhang, K. Chen, M. Goraczko, A. Miu, E. Shih, H. Balakrishnan and S. Madden: CarTel: a distributed mobile sensor computing system, The 4th ACM conference on Embedded network sensor systems (SenSys '06), pp. 125–138, 2006.
- [9] A. Tomasic, J. Zimmerman, A. Steinfeld and Y. Huang: Motivating Contribution in a Participatory Sensing System via Quid-Pro-Quo, The 17th ACM conference on Computer supported cooperative work & social computing (CSCW '14), pp. 979–988, 2014.
- [10] D. Zhang, H. Xiong, L. Wang, G. Chen: CrowdRecruiter: selecting participants for piggyback crowdsensing under probabilistic coverage constraint, The 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp '14), September 2014.
- [11] Demirbas. M, Bayir. M. A, Akcora. C. G, Yilmaz. Y. S, Ferhatosmanoglu. H: Crowd-sourced sensing and collaboration using twitter, The 2010 IEEE International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WOWMOM '10), pp. 1–9, 2010.
- [12] M. M. Grouat, B. Edwards, J. Horey, W. He and S. Forrest: Enhancing Privacy in Participatory Sensing Applications with Multidimensional Data, IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2012), pp. 144–152, 2012.
- [13] I. Boutsis and V. Kalogeraki: Privacy preservation for participatory sensing data, IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2013), volume 18, pp. 22, 2013.
- [14] L. Li, Y. Zheng, L. Zhang: Demonstration abstract: PiMi air box: a cost-effective sensor for participatory indoor quality monitoring, The 13th international symposium on Information processing in sensor networks (IPSN '14), pp. 327–328, 2014.
- [15] Bluetooth Low Energy <http://Bluetooth.com>, Retrieved October 2014.
- [16] iBeacon for Developers, <https://developer.apple.com/ibeacon/>, Retrieved October 2014.
- [17] Official Linux Bluetooth protocol stack <http://www.bluez.org>, Retrieved October 2014.
- [18] MySQL, <http://www.mysql.com>, Retrieved October 2014.
- [19] Apache, <http://www.apache.org>, Retrieved October 2014.