

研究室在室管理システム自動化における iBeacon の応用

田中 健 諏訪 敬祐

本研究室にある在室管理システムは、学生室入り口にあるタッチパネル式の PC に表示されている自分の名前をタップするだけで、入退室登録が可能となっている。しかし、多くの学生がその行為を時間がかかるために面倒だと感じており、実際にボタンをタップしている学生は少ない。そこで O2O 分野で近年注目を集めている、領域への入退出が検知可能な iBeacon を用いて、操作を自動化するアプリケーションを作成し、実用性の検証を行った。その結果、検証端末への消費電力量の増加を 0.2% に抑えつつ、学生室への入室にかかる時間を 59% 削減することができた。しかし、使用方法によっては端末への消費電力量の増加は無視できる値ではなかった。そのため端末に配慮したシステムを設計する必要があるということを検証から明らかにした。

キーワード：在室管理・iBeacon・入退室検知・スマートフォン・M2M

1 はじめに

1.1 研究の背景

(1) 諏訪研究室在室管理システムの問題点

現在、東京都市大学諏訪研究室には学生室に誰がいるかを PC やスマートフォンから確認することができる、Web アプリケーションベースのシステムが存在している。現状のシステムはタッチパネル式の PC を学生室入り口に設置し、そこに表示される自分の名前をタップすることで在室、退室を変更することができる。しかし、学生室に在室しているにも関わらず在室登録をしていない学生や、退室したにも関わらず、退室登録をしていない学生がいる。この点に関して、操作が簡単であるがゆえに操作することを忘れてしまう、習慣化されていない行為であるため、意識していない場合に忘れてしまうということが原因として考えられる。

また、在室管理システムは以前から自動化されればとも使えるシステムになるということが言われていた^[1]。また、自分の名前をタップしたつもりが、他人の名前を押してしまった等の操作ミスが起こっていることも挙げられる。

これらの状況を踏まえ、既存のシステムを有効活用するための方法を検討する必要があった。

(2) iBeacon の登場

iBeacon は 2013 年 9 月に Apple 社によって提唱された位置と近接の検出技術である。これは BLE を用いてスマートフォンの領域への入退出と近接検出を安価に実現することができるサービスとなっている。これらの実現によって、O2O で利用することが注目されている。O2O とは Online to Offline の略称であり、インターネットと実店舗を結びつけて、実店舗のショールーミング化を防ぐことを目指している。実店舗のショールーミング化とは、実店舗にある商品を確認し、購買決定をした場合でも、インターネット販売を利用して商品を購入するということが行われ、店舗の売上に影響を与えている。野村総合研究所が行った生活者 1 万人アンケートによると、そのような購入方法を実際に行っている顧客は約 7 割いることが判明している^[2]。

1.2 研究の目的

本研究では領域への入退出を検知可能な iBeacon を用いて在室情報の更新を自動化するシステムを作成し、その実用性の検証を行う。また、屋内環境では障害物等の影響によって RSSI 値を正しく距離に変換することは難しい^[3]。このことから同様に限界領域までの距離を正しく推定することも困難であると言える。本研究では入室時に検出漏れがあると、在室情報を自動更新できなくなってしまうため、検出漏れを少なくできる距離を明らかにする。

TANAKA Ken

東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科 2014 年度卒業生
SUWA Keisuke

東京都市大学 メディア情報学部 情報システム学科 教授

2 関連技術

2.1 BLE

BLE とは近距離無線通信技術 Bluetooth 規格の一つであり、正式名称は Bluetooth Low Energy と呼ばれている。これは 2010 年に Bluetooth Special Interest Group により策定された Bluetooth4.0 の規格に入っているもので、極低電力で通信が可能とされている。BLE は Wibree から派生した規格のため、従来までの Bluetooth とは互換性がない^[4]。そのため、特にホスト側の端末では従来の Bluetooth と同時利用できるデュアルモードとして実装されている端末が多い。

周波数は 2.4GHz 帯を使用しており、2MHz 幅で 40 個のチャンネルに分割して利用している。そのうち 3 チャンネルがアドバタイズメント・チャンネル、残りがデータ・チャンネルとして利用されている (図 1)。

2.2 iBeacon

iBeacon は Apple 社によって提案された BLE を利用した位置と近接の検出技術である^[5]。このサービスは BLE のアドバタイズメント・チャンネルを利用しており、送信端末をペリフェラル、受信端末をセントラルと呼ぶ。これら 2 つ以上の端末で構成されている。そのため、相互通信は不可能であり、ペリフェラルの発した電波をセントラルが受信し、その電波の内容に応じてセントラルが処理を実行する、というのが一般的な流れとなっている。図 2 にその流れを示す。

iBeacon には大きく 2 つの機能があり、一つは領域への入退を検知すること。そしてもう一つは Beacon 端末とスマートフォン端末の近接程度を検出することができる。

領域への入退は、ペリフェラル端末が発する電波がセントラル端末に届いているか否かで判定をしている。

近接程度の検出ではペリフェラル端末が発する電波の受信信号強度 (RSSI) を利用して、おおよその距離を Immediate, Near, Far で示すことができる。

Apple が提供している iOS は iOS7.0 から iBeacon の機能を利用することが可能である。しかし、iOS7.0 で

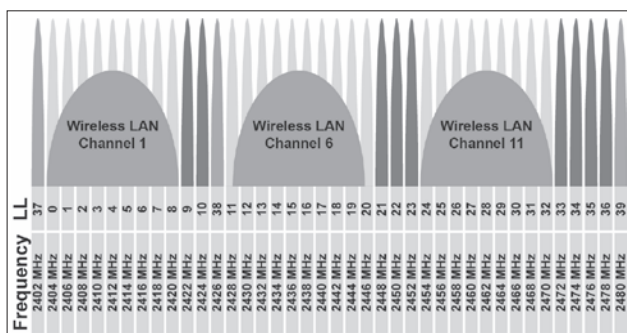


図 1 Bluetooth と Wireless LAN のチャンネル

利用した場合、該当アプリケーションが iOS のマルチタスク上に存在していないと領域への入退を検知することができない。一方で、iOS7.1 以降はアプリケーションがマルチタスク上に存在しない場合でも、該当する Beacon 端末を検知した場合に iOS がバックグラウンドでアプリケーションを起動する仕様になった。

3 関連事例

株式会社ジークスによって提供されている「iBeacon による出退勤在席管理システム」は、iBeacon を利用して出退勤管理と在席管理を同時に行うことができる^[6]。スマートフォンを持って Beacon 端末に近づくと、出退勤記録アプリケーションを立ち上げるメッセージを表示する。そのメッセージからアプリケーションを起動して画面に表示されるボタンを押すことで出退勤記録を送信できる。また、クラウド上に用意された「ZX-Logger Cloud」から出退勤情報の他に在席位置をリアルタイムで確認することが可能となっている。システムの概要を図 3 に示す。

4 開発環境

本研究では、iBeacon を用いて領域への入退を観測し、その結果を既存の在室管理システムに反映させる。既存の在室管理システムのサーバ仕様を表 1 に、その他に利用したものを表 2 に示す。

本研究では iBeacon の領域観測サービスを利用するため、iOS アプリケーションの作成をした。ペリフェラ

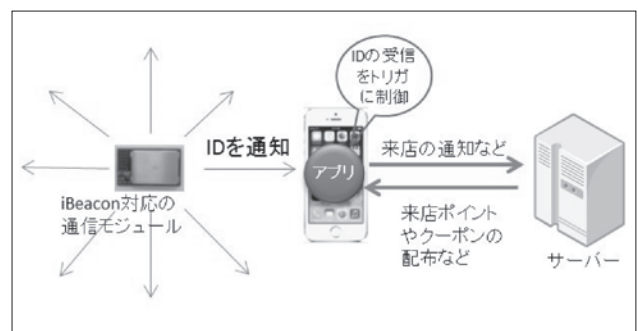


図 2 iBeacon の利用方法

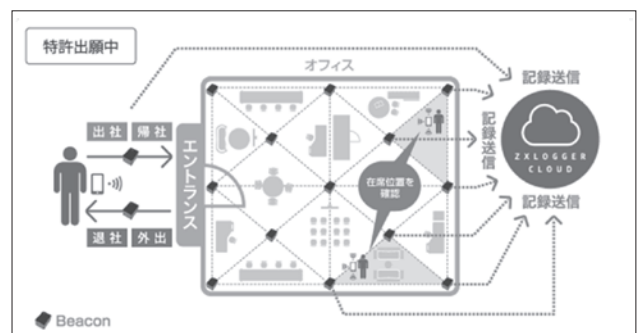


図 3 出退勤在席管理システム概念図

ル端末として用意した BM1 は Aplix 社の販売する Beacon 端末である。Beacon 端末のサイズは搭載する電池のサイズにほぼ依存しており、BM1 は単 3 形電池 2 本で動作するため、およそ単 3 形電池 2 本分のサイズとなっている。iBeacon では、その端末をセントラル端末が識別するために、UUID、Major 値、Minor 値が存在する。今回利用した Beacon 端末は UUID が固定値となっており、Major 値、Minor 値が 128bit の範囲内で変更可能である。端末の外観を図 4 に、その仕様を表 3 に示す。

表 1 サーバ仕様

OS	Ubuntu Server 12.04
データベース	MySQL5
Web サーバ	Apache2
PHP	php5

表 2 開発環境, 使用端末等

開発環境	Xcode6
開発言語	Objective-C
セントラル端末	iPhone6
ペリフェラル端末	BM1

表 3 BM1 仕様表

製品名	Beacon モジュール「BM1」
送信出力	-20dBm~0dBm
無線周波数	2400MHz~2483.5MHz
基準受信信号強度	-127dBm~20dBm
アドバタイズメント周期	100ms~1285ms
Major 値、Minor 値	それぞれ 2 ¹⁶ 通り

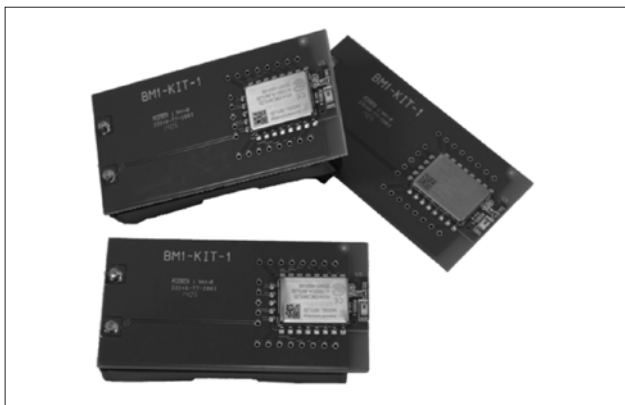


図 4 Aplix 社製 BM1

5 実装

本アプリケーションは研究室在室管理システムの存在が前提となっており、そのシステムとの違いはユーザが研究室に入退室時に画面をタップするアクションが不要になるという点のみである。

それを実現するために学生の入退室を iBeacon で検知し、その状況に応じて在室状況の変更を行う。前述の通り、iBeacon には領域への入退室を検知する領域監視が可能のため、その機能を利用する。

機能を利用するにあたって、アプリケーションは iOS に対して CLBeaconRegion オブジェクトを渡す。その時に検出したい Beacon 端末の UUID や Major 値、Minor 値などを指定する。そうすると iOS はそこで指定された Beacon の UUID や Major 値、Minor 値が検出された場合、登録したアプリケーションをバックグラウンドで起動し、検出されたことを知らせる。

研究室に設置された Beacon 端末の領域へ入り、アプリケーションがバックグラウンドで実行された時、自分の学籍番号と入室の情報を在室管理システムに対して自動送信する。それと同時に端末の通知機能を利用して、ユーザへ領域への侵入を検知したことを通知する。研究室から退室した場合も同様にアプリケーションがバックグラウンドで実行されるので、学籍番号と退室情報の自動送信を行い、ユーザへ退室を検知したことを通知する。このように在室管理システムの自動化を行う。システム構成図を図 5 に、システムのアクティビティ図を図 6 に示す。



図 5 システム構成図

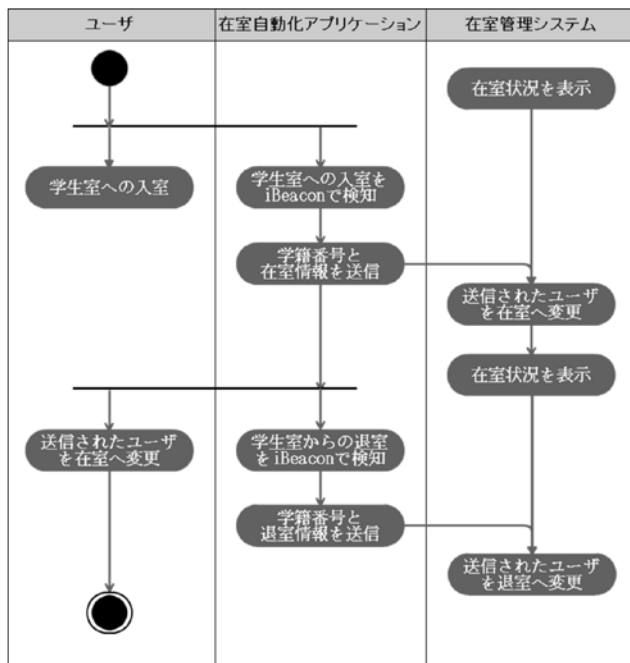


図 6 自動化システムアクティビティ図

6 検証

6.1 システム利用率

本研究室では前述の通り、在室管理システムが運用されている。しかし、このシステムのボタンを押していない学生が多く見受けられる。そこで、現在どの程度システムが利用されているかアンケート調査を行った。その結果ボタンを「必ず押す」、「たまに押す」の合計は22%と非常に低かった。その理由について予想していた「押すことを忘れてしまう」という回答も多かったが、「押すこと自体が面倒」、「出入口渋滞が発生してしまうため、押さない」など意図的に押さない学生も多くいることが判明した。

そこで、出入口渋滞に関して入室時間の計測を行った。出入口渋滞とは、約13人が参加する学年ゼミが終了した後、多くの学生が学生室に同時に戻るために発生するものである。今回はその渋滞を再現するために、5人の学生が学生室へ入室する場合を想定して計測を行った。計測は「ボタンを押しながら入室する」と「ボタンを押さずに入室する」の2パターンを計測した。その結果、ボタンを押して入室した場合は平均して15.2秒かかっていた。一方でボタンを押さずに入室した場合にかかる時間は6.3秒かかることが判明した。

6.2 iBeacon 利用による電力消費量の変化

iBeaconにはBluetooth Low Energyと呼ばれる低消費電力の無線通信が利用されているが、スマートフォンの電池を長持ちさせるにはBluetoothをOFFにすべきという考え方が一般的である[7]。そこで、iBeaconの

サービスを利用した場合、実際にはどの程度電力消費量が増大するかを検証した。

(1) 領域監視と近接検出利用時

検証ではできるだけ多くの端末を用意すべきだったが、全ての端末を用意することは不可能だったため、カナダで店舗内マーケティングサービスを提供しているAisle Labsが行った検証[8]と同様の検証を追加的に行うこととした。Aisle Labsが行った検証では対象端末をiPhone4S, iPhone5C, iPhone5Sの3端末に対して行われた。本研究では同様の検証をiPhone6に対して行った。

検証はBluetoothをOFFにした状態と比較して、iBeaconの領域監視と近接検出を常時続けた場合の消費電力量の変化について、周囲のBeacon端末の数を変化させた4パターンの計測を行った。その検証パターンを表4に示す。消費電力量の測定には、検証端末を充電し100%になった状態で実験を開始し、4時間計測した時点での一時間あたりの平均値を算出した。

検証時のスマートフォンの設定は画面の明るさを最小レベルに設定し、明るさ自動変更をOFFにした。また、画面のロックをしないに設定、キャリア回線はOFF、無線LANはONとした。Beacon端末側の設定は送信出力0dBm、アドバタイズメント周期100msとした。

検証に利用するアプリケーションはApp StoreでRadius Networks社によって提供されているLocate Beaconを利用する。このアプリケーションを起動してLocate iBeaconというモードを起動することで、領域監視と近接検出の両方を同時に実行し続けることが可能となる。検証結果を図7に示す。

図7より端末のBluetoothをONにし、周囲にBeacon端末を設置しなかった場合、BluetoothをOFFにしていた場合と比較して平均約2.8%電力消費量の増加が確認された。また、Beacon端末がスマートフォン端末の周囲に1つある場合、平均して4.3%電力消費量の増加が確認された。同様に、周囲にBeacon端末が増加すると、スマートフォン端末の電力消費量は増加することが確認された。特にiPhone4Sでは、その増加が顕

表 4 検証パターン

検証条件			
検証1	キャリア回線 OFF 無線LAN ON	Bluetooth OFF	Beacon なし
検証2		Bluetooth ON	
検証3	画面照度 最低		Beacon1 個
検証4	画面ロック なし	Beacon7 個	

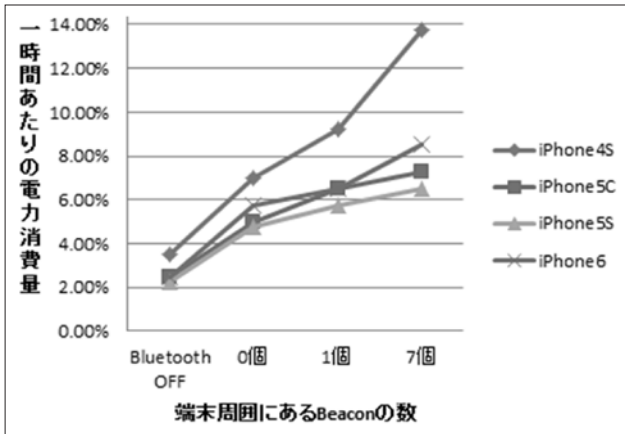


図7 周囲の Beacon 端末数による電力消費量への影響

著に現れ、Beacon 端末が周囲に7つあると Bluetooth を OFF にしている状態と比較して、一時間あたり 10.25%電力消費量が増加することが明らかとなった。

(2) 領域監視のみ利用時

前述の検証では、常時近接検出を利用するため、端末をスリープ状態にさせずに検証を行った。これは iOS の制限により、バックグラウンドでの近接検出ができないためである。しかし、本システムでは iBeacon の領域監視のみを利用してアプリケーションを作成しているため、領域監視のみを利用した場合の電力消費量が重要になってくる。そこで領域監視のみを利用した場合の電力消費量に関して検証を行った。

検証では、作成した自動化アプリケーションを使用して領域監視のみを行った。スマートフォン端末はキャリア回線を ON、無線 LAN を OFF の状態で行った。Beacon 端末は送信出力 -8dBm、アドバタイズメント周期を 100ms とし、本研究の中心部天井に1つ設置または中心部机の上に Beacon を7つ設置とし、それぞれ計測した。本研究室の見取り図を図8に示す。

対象端末は iPhone6 を使用し、研究室中央にある机の上に設置した。検証は充電完了状態から 24 時間後の電力消費量の値を計測し、1 時間あたりの電力消費量を

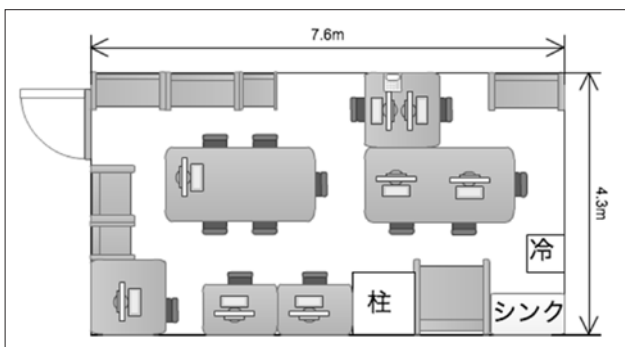


図8 諏訪研究室見取り図

算出した。また、本検証では電力消費量が少ないことが予想されていたため、USB 接続タイプのテスターを用意し、トリクル充電が終了する間際の電流値である 80mA 以下となった場合に充電が完了したと定義して計測を行った。その計測結果を図9に示す。

図9より、1時間あたりの電力消費量では Bluetooth を利用していない場合に比べ、Beacon 端末が1つある状態で Bluetooth を ON にすると、約 0.2%増加することが明らかとなった。

6.3 Beacon 端末の検出領域に関する検証

電波伝搬に関しては多くの研究がされているが、前述の通りその伝播に影響を与える要因が多いため距離を正確に決定することは難しい。そこで本研究では本研究室での運用を前提として検証を行った。本研究室の見取り図は図8に示すとおりである。

図8より、本研究室の中央天井部分に Beacon 端末を1つ設置する場合、天井までの高さが3mのため三平方の定理を適用すると5mまでの範囲が領域内になる必要がある。

一方、屋内での伝搬損失に関しては ITU-R によって提案されている [9]。その式を下記に示す。

$$L_{total} = 20 \log f + N \log d + L_f(n) - 28$$

ただし、 L_{total} は dB 値で表した伝搬損、 N は距離依存性を示すパラメータ、 f は周波数 [MHz]、 d は基地局と端末との距離 [m]、 L_f は dB 値で表した床の透過損、 n は基地局と端末の間にある床の数である。

本研究では距離 d を推定したいため L_{total} を決定する必要がある。Apple 社の発表では 1m 離れた地点では -59dBm とされており、これは自由空間での伝搬損失を利用した値である。1m での自由空間伝搬損失は約 40dB である。そこで $59-40=19$ となりアンテナでの電

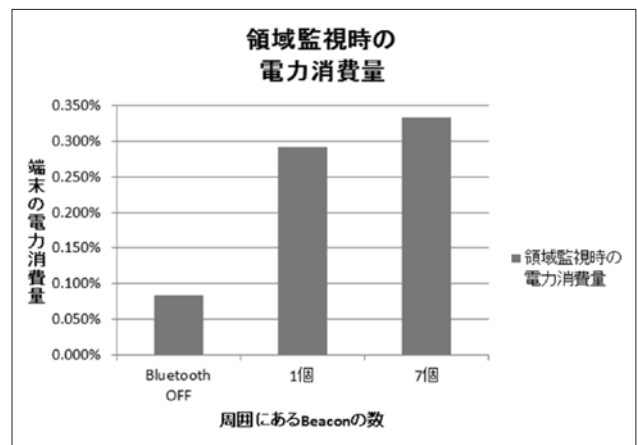


図9 領域監視のみを行った場合の電力消費量

波損失は約 19dB になることが推定できる。

また Apple 社の発表では有効範囲は見通し距離で 50m とされている。同様に 50m での自由空間伝搬損失は約 74dB となっており、これにアンテナ損失を足すと約 93dB となる。以上のことから iBeacon の有効範囲の限界領域では約 93dBm となり、 L_{total} は 93dB とする。

また、前述のアンテナ損失である 19dB を右辺に足すことで、端末受信時の値を推定する。

このような条件で屋内での伝搬損失式を適用することで、Beacon 端末の出力信号を -12dBm にすると 5.6m までの範囲が領域になることが推定できる。

そこで、-16dBm、-12dBm、-8dBm の送信出力で利用した場合に、どの程度検出漏れが発生するかを運用しながら検証した。検証では、iPhone5, iPhone6, iPad (第 4 世代) を使用し、学生室内に在室しているにも関わらず、退室と検知される回数を計測した。その結果 -16dBm だと 2 時間で 14 回の入退室が発生した。-12dBm の場合だと 1 週間のうち数回程度の頻度で検出漏れが発生していた。一方、-8dBm では 20 日間以上連続して検出漏れが発生することはなかった。以上の結果から、本研究室での運用には送信出力は -8dBm が適正であるということが判明した。

6. 4 考察

検証の結果から、出入口渋滞が発生することにより、約 6 割もの無駄な時間を浪費していたことがわかった。また、現状のとても低い利用率は、押し忘れなどの人為的なミスを除くと、このような渋滞の発生を回避している学生がいるためであるということが判明した。

この問題を解決するにはユーザに対して操作を求めないシステムが必要だったということが改めて確認することができた。

また、本アプリケーションを利用した場合の端末の電力消費量に関して検証の結果より、約 0.2% の上昇に留まっていた。このことから本アプリケーションを利用する場合の影響はほとんどないと言える。

上記の理由から、低消費電力で常時実行し続けるアプリケーションが入退室を検知し、自動的に在室情報の登録をする本アプリケーションは有用であると言える。

7 おわりに

7. 1 まとめ

本研究では O2O 分野で注目されている iBeacon を利用して研究室在室管理システムの在室情報を自動更新するアプリケーションを作成した。作成したアプリケーションは本研究室では研究室中央天井部分に Beacon 端末を 1 つ設置し、送信出力 -8dBm、アドバタイズメント周期 100ms とすることで、開発したアプリケーション

をインストールした iPhone6 では電力消費量の増加をインストール前の状態と比較して 0.2% に抑えつつ在室情報を更新することができた。

一方で iBeacon を利用したアプリケーションを作成する場合、近接検出を常時行くと多くの電力を消費することが判明した。そのため、可能な限り近接検出の機能を利用せず、効果的に領域監視の機能を利用するなど、端末に配慮してシステム設計をする必要がある。

7. 2 今後の展望

端末が入退室検知時に通信できない場合、在室状況の更新ができないことがあったため、再送制御を組み込むなどの工夫をする必要がある。また、端末によって入退室検知率に若干の違いが確認されたため、詳しい調査をする必要がある。

今回作成したアプリケーションは iOS7.1 以上を搭載した端末向けに作成したアプリケーションであり、Android OS を搭載した端末には対応していない。これにより、本研究室の学生全員が本システムを利用することができない。この問題を解決するには、Android 版のアプリケーションを用意する必要がある。

謝辞

本研究室修士 2 年生猪股史也氏をはじめ、諏訪研究室の学生の皆様に深謝する。

参考文献

- [1] 小野澤清人. Twitter を用いた在室情報管理システム. 東京都市大学平成 23 年度卒業論文, 2012 年 3 月
- [2] 生活者 1 万人アンケートにみる日本人の価値観・消費行動の変化 - 野村総合研究所 2012 年 <https://www.nri.com/jp/event/mediaforum/2012/pdf/forum182.pdf>
- [3] 古館達也, 堀川三好, 菅原光政. 受信信号強度を用いた屋内測位手法の提案. 情報処理学会研究報告 MBL [モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会研究報告], 2014-MBL-73 (21), 1-8, 2014-11-13.
- [4] 水上貴晶, 内藤克浩, 土井千章, 中川智尋, 大田賢, 稲村智, 菱田隆彰, 水野忠則. 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. 情報処理学会研究報告 ITS [高度交通システム] 2014-ITS-59 (3), 1-6, 2014-11-13.
- [5] iBeacon for Developers | Apple 社 <http://developer.apple.com/ibeacon/>
- [6] iBeacon 位置情報対応サービスなら株式会社ジークス | ジークス

<http://www.zyyx.jp/service/solution/ibeacon.html>

- [7] 「使わないのにオン」、通信見直し無駄減らし スマホ「電池切れ」回避のツボ (2) 日本経済新聞
http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK2702I_X20C13A3000001/
- [8] A Technical Report- AisleLabs
<http://www.aislelabs.com/reports/ibeacon-battery-drain-iphones/>
- [9] 細矢良雄監修 (1999) 「電波伝搬ハンドブック」, リアライズ社.