

BLE ビーコンをパカパカ

池田 翔太¹ 梶 克彦¹

概要: 本研究では, 目の前にあるビーコンを手などで覆ったり開いたりを繰り返し, 管理端末側の受信電波強度の変化から対応するビーコンの識別を行う. 近年 Bluetooth Low Energy(BLE) を用いたビーコンが普及してきておりイベントなどで多く用いられている. しかし, ビーコンを複数管理しようとする時, ビーコン 1 つ 1 つを容易に識別するために明確な手段がない. 提案手法では, BLE ビーコンを識別するために BLE の受信電波強度の変化を使用する. BLE は出力電波が弱く, BLE ビーコンは手のひらサイズの小型のものがほとんどである. ビーコンを両手で覆えば容易に BLE の電波を減衰させられる. ビーコン識別のためにアルゴリズムを検討し, 管理アプリを作成した. またビーコン識別実験を行い, 複数あるビーコンの中から目的のビーコンを 15 秒以内に識別でき, 識別の正答率も 100%であった.

Pakapaka Method For BLE Beacon Identification

SHOTA IKEDA¹ KATSUHIKO KAJI¹

1. はじめに

近年, Bluetooth Low Energy を用いたビーコンや iBeacon が普及し, 公共施設や店舗に設置され, 近くを通った人のスマートフォンへのクーポンの配信や屋内位置推定での特定エリアの入退室, スタンプラリーでのチェックポイント認識, ビーコン連動決算, 公共施設内の電子ガイド, ペンダント型ビーコンを使用した徘徊者の位置検出などに利用されている [1][2][3].

ビーコンを店頭に設置する場合, 小規模の店舗なら数個程度を管理すれば良い. また, 個人で利用する場合, 識別できる範囲で管理すれば良い. しかし, 屋内位置推定やスタンプラリーなど多くのビーコンを環境側に設置する場合, 特定の管理者または管理グループがすべてのビーコンを管理する必要がある [4][5].

管理者が複数のビーコンを同時に管理する場合, 管理端末とビーコンの対応付けが困難である. そこで, 何をすれば対応付けが容易になるか考えられるものを以下に示す.

- ビーコンにラベルなどの目印を貼り付ける
- ビーコンの電源を落とす
- 管理端末でビーコンの LED を光らせる

しかし, それぞれに問題がある. 目印をつけるのはビーコンの形状やデザイン等の制約によってつけれないものもあり, 電池を抜き一時的に電源を落とすのは容易に電池を抜き差しできないものもある. 電池を抜き差しできるものでも何回も開けているうちに図 1 のように傷ができてしまう. LED を光らせて識別するというのはすべてのビーコンが LED を内蔵しているわけではない.

本研究ではビーコンを覆ったり開いたりを繰り返したりする「パカパカ」という動作によって, BLE ビーコンを識別する手法を提案する. パカパカするとビーコンからの電波を周期的に減衰させ, 管理端末側の受信電波強度の変化でビーコンを識別する. BLE の電波は弱く, 小型のビーコンがほとんどであるため容易に手で電波を減衰させられる.

本論文の構成を示す. 第 2 章では関連研究に関する説明を行う. 第 3 章では提案手法の概要を示す. 第 4 章では提案手法を用いた実験について述べる. 第 5 章ではまとめと今後の課題について述べる.

2. 関連研究

BLE ビーコンの普及によりビーコンを用いた隠れ端末, 晒し端末の推定, またビーコンを用いた位置推定などビーコンが使用される研究が多くなってきている. またビーコンを管理するサービスができている. しかし, ビーコンを

¹ 愛知工業大学 情報科学部
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology



図 1 電池の出し入れによってビーコンにできた傷 (Braveridge 社, Aplix 社)

使用する研究はあるが、ビーコンの識別や管理をする研究は少ない。Lee らの提案する無線 LAN ビーコン管理手法 [6] ではアクセスポイントを使用し、ビーコンの電波の送信間隔でビーコンの管理を行う。ダウンリンク・ネットワークの負荷が一定のレベルに達すると、ビーコンの送信間隔の長さが限りなく短く固定されているので、アクセスポイントは 1 つのビーコンの送信中、局にパケットを転送できない。局の数は、輻輳が発生したビーコン送信間隔の長さに応じて適切な範囲内でビーコンのトラフィック指示マップにマークし制限する。しかしこの管理手法だと無線 LAN ビーコンのため、無線 LAN が機能していないとビーコンの管理ができない。

参加型センシングを利用した BLE ビーコンの動作監視の研究も存在する。朝日らの手法 [7] では、ビーコンを電子スタンプラリーのチェックポイントとしている。アプリケーションをインストールしたスマートフォン端末は電波を受信すると、ビーコンの情報と時刻データがサーバ上に送られる。そして、サーバに送信された情報を監視すると、連続してデータが送信されていたが突然データが送信が途切れる場合がある。データの送信が突然途切れるので、ビーコンの死活状態が把握できるという手法である。この手法では、サービスを運用している最中のビーコン識別としては有効であると考えられる。しかし、ビーコンの初期設定や設置時に目の前に多くのビーコンがある状況で特定のビーコンの識別ができないという問題がある。

BLE ビーコンの管理サービスとして ACCESS Beacon Framework (ABF) がある。[8] Beacon Framework とは株式会社 ACCESS が開発したトータルフレームワークである。Beacon 本体と、リファレンスアプリケーション、バックエンド機能を提供するクラウドサービス BaaS (Backend as a Service) を組み合わせて提供する。これにより、企業が Beacon サービスを素早く市場投入できる。利点としてはビーコンの管理を行いながらビーコンのサービスが提供できる。しかし、これは企業が提供している商用サービスなので有料である。ビーコンの設定アプリケーションもあ

るが特定ビーコンにしか使用できない。そのため管理できるビーコンが限られてくる。

3. BLE ビーコン識別手法の提案

本研究では、解決手法として目の前にあるビーコンを図 2 のように手などで覆ったり開いたりを繰り返し、管理端末側の受信電波強度 (RSSI) の変化から対応するビーコンを識別する。以降ビーコンを手で覆ったり開いたりする動作を「パカパカ」と呼ぶ。BLE の電波は弱いので手で覆うだけでも電波を減衰させられる。

BLE ビーコンをただ机に置いている状態の RSSI の波形を図 3、パカパカしている時の RSSI の波形を図 4 に示す。ビーコンをパカパカすると、RSSI がパカパカに対応して変化しているのが確認できる。図 4 より、パカパカで RSSI が平常値から約 20dBm 低くなる。

パカパカによるビーコン識別では、ビーコン本体に何かを加えるという必要がなくなり、ビーコンの機種依存性が低くなる。加えて、ほとんどのビーコンは両手で覆えるサイズなので誰でも簡単に実現できる。またビーコンを開いて電池を抜き差ししなくとも良い。



図 2 「パカパカ」の動作。ビーコンを覆っていない時 (左) 覆っている時 (右)

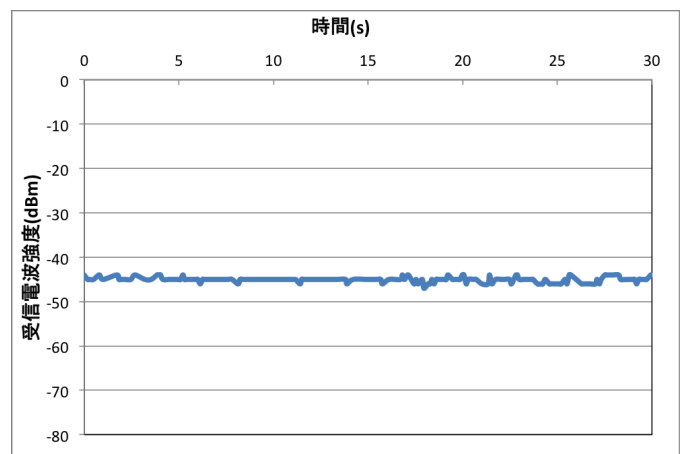


図 3 ビーコンをただ机に置いている時の平常値の波形

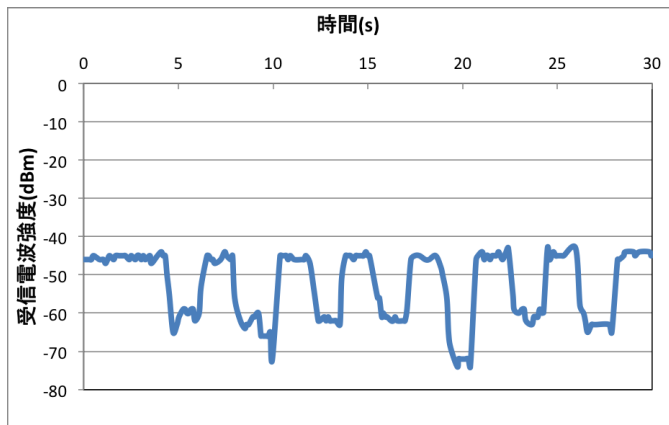


図 4 手でパカパカした時の RSSI の波形

3.1 アルゴリズム

本手法のアルゴリズムは、はじめにビーコンから発せられる BLE の電波を受信する。受信したビーコンの UUID, Major, Minor をもとに管理端末側でそれぞれの時系列データを管理する。一定時間 (ここでは 1 秒) の RSSI の値が溜まり次第、ローパスフィルタの一種である移動平均フィルタを適用し、ノイズを除去を行う。ローパスフィルタの適用前と適用後の波形を図 5 に示す。ビーコン識別は 1 秒間隔で実行される。識別アルゴリズムは図 7 に示す。ビーコンを手で覆った時に約 20dBm ほど RSSI が変化するので、RSSI が平常値から 10dBm 低い値を境界値として設定する。設定した境界値をもとにローパスフィルタを適用したデータを 0, 1 のバイナリデータに変換する。変換したデータの波形を図 6 に示す。時系列データが 0 から 1 に変化した場合に回数をカウントし、0 から 1 の変化が 2 回以上あった場合、そのビーコンをパカパカしたビーコンとみなす。

3.2 管理アプリ

ビーコンの識別にあたり管理アプリを作成した。アプリ画面を図 8 に示す。アプリ画面にはビーコンの UUID, Major, Minor, RSSI が一覧になって表示される。RSSI の値は 0.1 秒ごとに更新される。ビーコンが識別された場合、図 8 の右側のようにビーコンの情報が赤くハイライトされる。ビーコンの識別中にビーコンの位置が動いてしまうと、RSSI の平常値が変わってしまうが、その場合、アプリ画面下のボタンを押すとビーコンの情報を初期化できる。

3.3 パカパカの素材・間隔・回数の検討

本手法では、複数のビーコンを同時に管理する状況を想定している。今回は両手で覆うパカパカによる手法を提案したが別の素材を使用した場合の RSSI の変化はどうか、ビーコンをパカパカする回数は適正值なのか、パカパカ間隔の適正值を検討する。使用するビーコンは Aplix 社のビーコン (図 1 右), Braveridge 社のビーコン (図 1 左) で

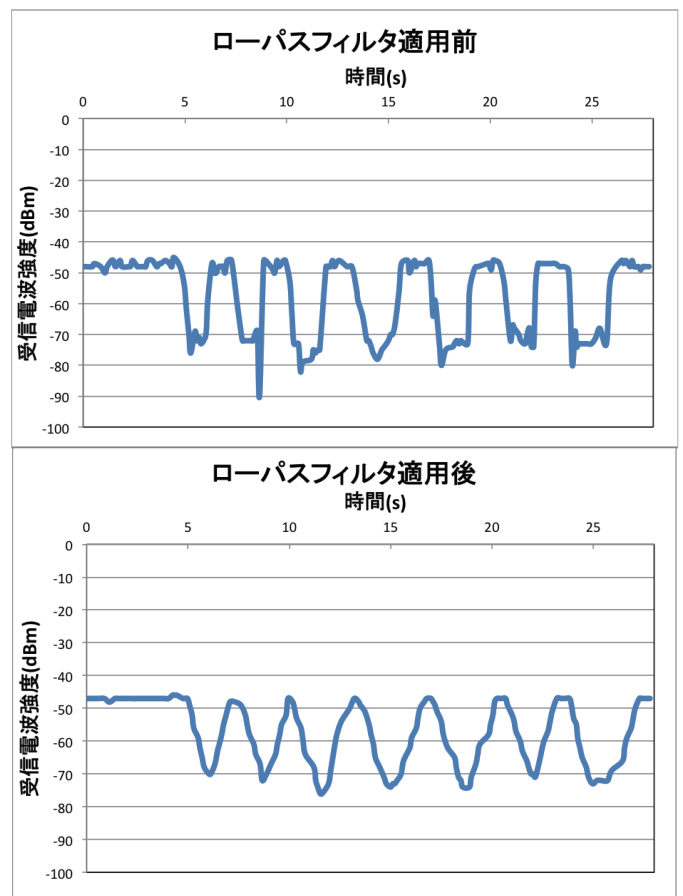


図 5 ローパスフィルタの適用前 (上) と後 (下)

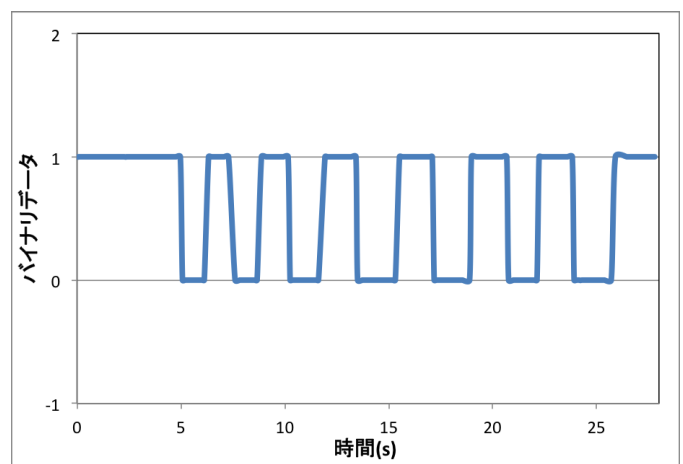


図 6 変換後のバイナリデータの波形

ある。

3.3.1 パカパカ素材の検討

ビーコンを識別する際にビーコンを両手で覆える場合は問題ないが、ビーコンを両手で覆う動作が困難な場合、また識別に手を使えない場合があると考えられる。そこで、手以外での RSSI の変化はどれくらいなのか、変化次第では手よりの確なのではないかと考える。

身近に入手できて電波を遮る素材としてアルミ箔があげられる。アルミ箔でビーコンを包むと完全に電波を遮断で

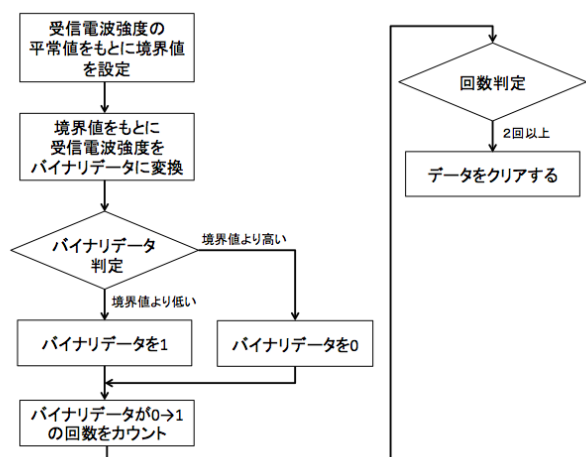


図 7 パカパカによる BLE ビーコン識別アルゴリズム

| beacon_test | |
|--|-----|
| A9D71355-6595-1801-B7EA-001C4D678E7C,1,4 | -55 |
| A9D71355-6595-1801-B7EA-001C4D678E7C,2,1 | -73 |
| A9D71355-6595-1801-B7EA-001C4D678E7C,1,2 | -52 |
| A9D71355-6595-1801-B7EA-001C4D678E7C,2,3 | -66 |
| A9D71355-6595-1801-B7EA-001C4D678E7C,2,2 | -74 |
| A9D71355-6595-1801-B7EA-001C4D678E7C,1,3 | -63 |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| LIST CLEAR | |

| beacon_test | |
|--|-----|
| A9D71355-6595-1801-B7EA-001C4D678E7C,1,4 | -46 |
| A9D71355-6595-1801-B7EA-001C4D678E7C,2,1 | -71 |
| A9D71355-6595-1801-B7EA-001C4D678E7C,1,2 | -44 |
| A9D71355-6595-1801-B7EA-001C4D678E7C,2,3 | -78 |
| A9D71355-6595-1801-B7EA-001C4D678E7C,2,2 | -67 |
| A9D71355-6595-1801-B7EA-001C4D678E7C,1,3 | -60 |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| LIST CLEAR | |

図 8 (左) 受信された全ビーコンのリスト (右) パカパカによって識別されたビーコンをハイライト

きた。手でビーコンを包んでも電波を完全に遮断できないためアルミ箔は手より識別に有効であると考えられた。しかし、今回は包むのではなくビーコンを覆うという形なので電波は完全に遮断できないと考えられる。そこでアルミ箔を図9のようにお椀型にしてパカパカをした場合を検証した。手でパカパカしている時のRSSIの波形を図10に示す、アルミ箔でパカパカしている時のRSSIの波形を図11に示す。手でビーコンを覆っている間のRSSIより、アルミ箔を覆っている間のRSSIがあまり安定していない。覆っている時にRSSIが安定していないとビーコンの識別に影響が出る可能性がある。

パカパカ素材の検討から、手もアルミ箔も識別は可能である。しかし、アルミ箔は覆っている間の RSSI は安定しない。アルミ箔は準備がいるのに対し、手はいつでも使用できる。よって、アルミ箔より手でパカパカをする方がよ

いと考えられる。



図 9 アルミ箔をお椀型にした状態

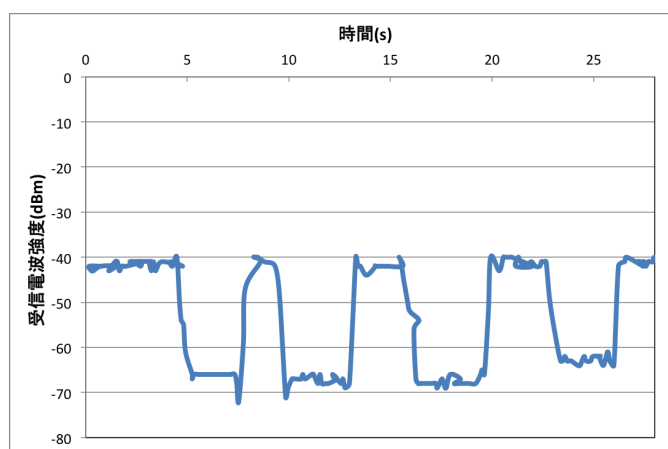


図 10 手でパカパカした場合の RSSI

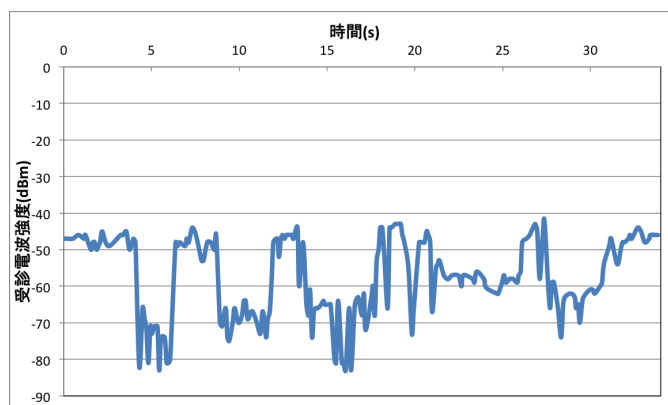


図 11 アルミ箔でパカパカした場合の RSSI

3.3.2 パカパカ間隔の検討

ビーコンをパカパカする間隔が短いと境界値まで RSSI の値が低くならない場合がある。境界値まで RSSI の値が低くならないと識別に影響する。図 12, 13 にローパスフィルタを適用した波形の 1 秒間隔と 2 秒間隔の図を示す。1 秒間隔でパカパカをする場合問題なく識別はできるが、RSSI は何もしていない状態と覆った状態で安定しな

い。そして、境界値まで RSSI の値が低くならない場合や低くなってから境界値まで戻らない場合が確認できた。2 秒間隔でパカパカする場合、1 秒間隔で確認できた状況が無く、何もしていない状態と覆った状態で少しの時間だが RSSI が安定する。これは 1 秒ごとのローパスフィルタを適用した RSSI をビーコンの識別処理を行っているからである。

ビーコンからの生データなら管理端末側の RSSI は 1 秒間で安定する。よって、1 秒間で RSSI は安定するがビーコン識別処理にかかるローパスフィルタの都合上安定までに 2 秒間必要となる。

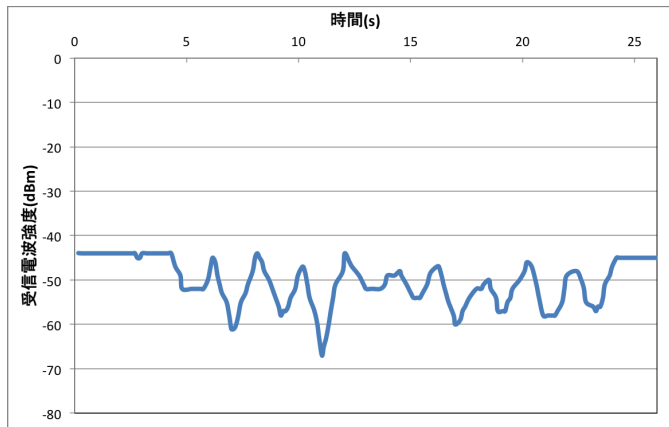


図 12 パカパカを 1 秒間隔で繰り返した場合

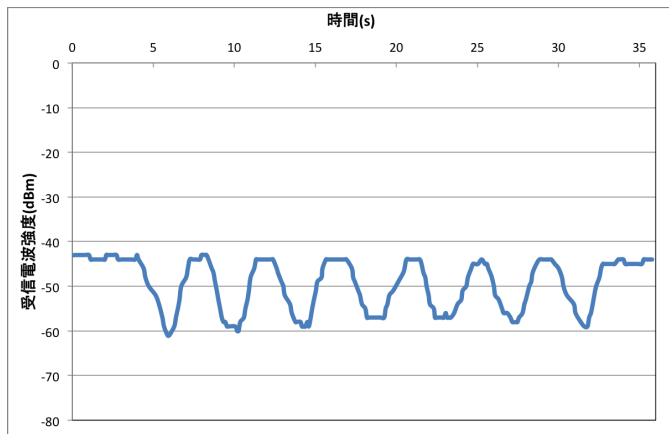


図 13 パカパカを 2 秒間隔で繰り返した場合

3.3.3 パカパカ回数の検討

回数については、1 回ではすぐにビーコンの識別はできるがノイズの影響で誤作動する可能性が考えられるので問題がある。2 回だと識別に誤作動も減りあまり時間もかからない。3 回以上では誤作動は減ると考えられるが、識別までに時間がかかる。ビーコンを複数同時に管理するにあたって 1 つ 1 つの識別に時間がかかると大変である。よってパカパカ回数については 2 回が適切だと考えられる。

4. ビーコン識別実験

3 章で行った検討により、ビーコンの識別が正確に行えるようになったか確かめるために被験者実験を行った。アプリ作成者自身が実験を行うと無意識のうちにアプリの欠点や効率の良い識別方法で識別する可能性がある。また、識別を行うユーザがビーコン 1 つ 1 つを識別できるか検証するためである。

本実験ではビーコンの識別の正答率、識別にかかる時間、回数を検証する。管理端末として ASUSU の Android 端末を管理端末として使用し、識別するビーコンとして Aplix 社の MyBeacon[9]、Braveridge 社の BlueTooth Beacon[10] のビーコンを使用した。Braveridge 社のビーコンは片手で覆えるほどの大きさなので、被験者は Aplix 社のビーコンを両手で覆える手の大きさの人、覆えない手の大きさの人の 2 人である。はじめに 3 個のビーコンと管理端末を置きビーコンを識別する。ビーコンは 2 回パカパカすると識別でき、端末側で UUID, Major, Minor が赤くハイライトされる。これで識別は完了なのだが、識別の正答率を確認するために図 14 のようにビーコンの裏にラベルを貼る。Aplix 社のビーコンは Major と Minor のラベルが貼り付けてあり、Braveridge 社のビーコンは Minor が貼り付けてある。ハイライトされた情報とビーコンの裏に貼ってある情報の確認を行ってもらう。この過程をビーコンが 3 個、5 個、10 個と繰り返す。ビーコンが 3 個の時は箱型のビーコンを使用、5 個の時は零型のビーコンを使用する。10 個の場合は 2 種類のビーコンを 5 個ずつ使用している。実験している様子を図 15 に示す。

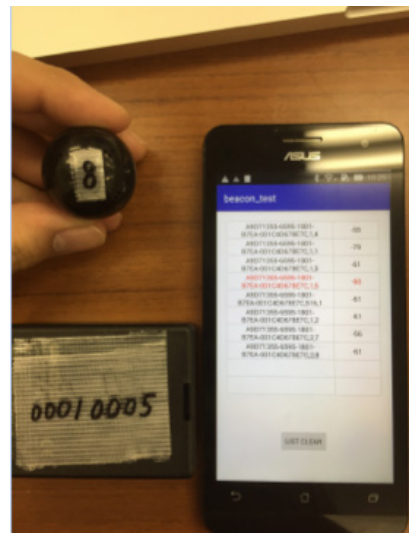


図 14 管理端末とビーコンの照らし合わせ

実験の結果として、ビーコンの個数、ビーコンの識別の正答率、識別にかかる時間、パカパカの回数を表 1、表 2 に示す。表 1 がビーコンを覆える手の大きさの人のビーコン識別精度、表 2 がビーコンを覆えない手の大きさの



図 15 実験風景

人のビーコン識別精度である。ビーコンの個数が3個、5個、10個と変わっても正答率が100%であった。個数に関係なくビーコン識別の正答率が100%という結果から、個数が変わっても問題なくビーコン1つ1つを識別できるという結果が確認できる。そして、ビーコン1個あたりの識別にかかる秒数はビーコンを覆える方が早いという結果が確認できた。しかし、ビーコンが10個の場合、正答率が100%であっても識別するまでの最大パカパカ数が4回となっている。

表 1 ビーコンを完全に覆える手の大きい人の識別精度

| ビーコンの個数 | 正答率 (%) | 1個あたりの識別時間 (秒) | 識別までの最大パカパカ数 (回) |
|---------|---------|----------------|------------------|
| 3 | 100 | 10 | 2 |
| 5 | 100 | 9 | 2 |
| 10 | 100 | 13 | 4 |

表 2 ビーコンを完全に覆えない手の大きい人の識別精度

| ビーコンの個数 | 正答率 (%) | 1個あたりの識別時間 (秒) | 識別までの最大パカパカ数 (回) |
|---------|---------|----------------|------------------|
| 3 | 100 | 13 | 2 |
| 5 | 100 | 12 | 2 |
| 10 | 100 | 15 | 4 |

実験の結果からビーコン識別には、手の大きさの違いはあまり関係なくビーコンの識別はできるという結果が得られた。しかし、ビーコンの数が少なければパカパカする回数は2回で識別できるが、10個になるとパカパカする回数が増える。これは2種類のビーコンが存在する時に目的のビーコンを識別しようとすると、各ビーコンの電波出力の特性の違いから電波が干渉しRSSIが安定しなくなっていると考えられる。

5. おわりに

本稿ではBLEビーコンをパカパカして識別する手法を提案した。パカパカによってRSSIを変化させ、その変化を利用しビーコンの識別をする。また、ビーコン識別のアルゴリズムを検討し、パカパカの間隔は2秒、回数は2回が適切であると結論付けた。ビーコンを他の素材でパカパカするより、ビーコンを覆っている間も電波が安定する手でパカパカすると良い。ビーコンの識別を管理端末で行う

ため管理アプリケーションを作成した。ビーコン識別実験を行った結果、15秒以内にBLEビーコンが識別でき、ビーコンの識別の正答率は100%であった。ビーコンは正確に識別できるという結果が確認できた。

今後の課題として、アプリケーションの表示部の制約上ビーコンを10個までしか表示できなかったため、表示部を改良して10個以上の管理を可能にする。また、ビーコンの識別は環境に大きく左右される。よって、ビーコン識別アルゴリズムを改良して、机の素材やビーコンの種類など様々な状況でロバストな識別精度を実現する。

参考文献

- [1] 本当に Beacon はもう終わったのか？ 今後 Beacon の導入が進むであろう 5 つのワケ: 入手先 <http://beaconlabo.com/2015/07/1247/> (参照 2016 年 3 月 20 日)。
- [2] 2015 年の飛躍を占う国内 iBeacon 導入事例 14 選: 入手先 <http://o2o.abēja.asia/product/post-7282/> (参照 2016 年 3 月 20 日)。
- [3] プロファイルパスポート AD: 入手先 <http://www.profilepassport.jp/dmp-dsp.html> (参照 2015 年 5 月 10 日)。
- [4] 岩見泰周, 鬼木明日香, 佐藤健哉. 複数 iBeacon を利用した位置精度向上の検討, 情報科学技術フォーラム講演論文集 14(4), pp.309-310, 2015.
- [5] 井上豊, 池田剛, 山本潔, 幸島明男, 山下倫夫, 麻生英樹, 車谷浩一. ComPass ビーコンを用いたスマートフォン上での屋内自律型測位システム, 情報処理学会研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI) 2008(18(2008-UBI-017)), pp.195-202, 2008.
- [6] Jung-Ryun Lee, Sang-Wook Kwon, Dong-Ho Cho. A New Beacon Management Method in Case of Congestion in Wireless LANs. 2005 IEEE 61st Vehicular Technology Conference, pp. 2037-2040 Vol. 3, 2005.
- [7] 朝日大地, 横畑夕貴, 井上知洋, 前大道浩之, 筒井章博. 広域電子スタンプラリー実験におけるユーザー参加型の BLE ビーコン動作監視の性能評価, 電子情報通信学会信学技報, Vol.115, No.466, 2016.
- [8] ACCESS Beacon Framework (ABF): 入手先 <http://jp.access-company.com/products/cloud/a-beacon/> (参照 2016 年 5 月 9 日)。
- [9] MyBeacon 汎用型 MB004 Ac: 入手先 <http://www.aplix.co.jp/product/mybeacon/mb004ac/> (参照 2015 年 3 月 20 日)。
- [10] Bluetooth Beacon: 入手先 <http://www.braveridge.com/seihin-joho.html> (参照 2016 年 4 月 23 日)。