

Bluetooth ビーコンを利用したログイン機構とその応用

An Authentication Mechanism Using Bluetooth Beacons and its Applications

渡邊 正人^{*1}

Masato Watanabe

白松 俊^{*2}

Shun Shiramatsu

大園 忠親^{*2}

Tadachika Ozono

新谷 虎松^{*2}

Toramatsu Shintani

^{*1}名古屋工業大学大学院創成シミュレーション工学専攻

Department of Scientific and Engineering Simulation, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

^{*2}名古屋工業大学大学院情報工学専攻

Department of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

We aim to develop a new user interface based on Bluetooth beacons. The user interface enables all devices in the same space to interact with each others. Our study is to realize a method to design the layout of multiple beacons to detect valid beacons in an approved area. However, human bodies absorb 2.4GHz waves, Bluetooth uses the 2.4GHz band, users in a detection area can attenuate Bluetooth signals. We implemented a planning system for a layout of Bluetooth beacons considering the attenuation by human bodies. We propose an authentication mechanism using Bluetooth beacons for multiple users. This paper describes the layout planning algorithm and its application, an authentication system for a paperless conference system we developed.

1. はじめに

我々は、近距離無線技術をユーザインタフェースに応用する研究を行っている [渡邊 14]。近距離無線技術の中でも、特に Bluetooth ビーコンを取り扱う。Bluetooth ビーコン（以下ビーコン）とは定期的に発信される、iBeacon^{*1}に基づく信号である。ビーコンには、ビーコンの到達可能範囲にあるビーコン受信機すべてに、信号を受信させることができる特徴がある。この特徴を応用すると、ある物理的な空間内にあるデバイス同士が、インタラクション可能なユーザインタフェースを実装することができる。この特徴をユーザインタフェースに応用するためには、1. ビーコンの到達可能範囲を制御すること、2. ビーコンの到達可能範囲内のどのビーコン受信機がビーコン受信機を受信するかを知ることが求められる。本研究では、2. の要件を満たすために、1 つのビーコン発信機によって、できるだけ多くのビーコン受信機を動作させる枠組みを実装した。この枠組みを応用して、ビーコン発信機を適切に部屋に配置することで、ビーコン受信機が部屋の中にあるかどうかを検知する。

ビーコン発信機をある領域内に設置することで、ある領域へのビーコン受信機の進入を検知することを考える。この時、ビーコン発信機の数が増加するにつれ、ビーコン発信機の導入コストおよび管理コストが増加する。ビーコン発信機の導入コストは、ビーコン発信機を設置する手間のことを指し、ビーコン発信機の管理コストは、ビーコン発信機の故障や紛失への対応にかかるコストを指す。ユーザインタフェースへ応用することを考慮すると、導入コストおよび管理コストはできるだけ抑えたい。導入コストおよび管理コストを抑えるために、使用するビーコン発信機をできるだけ少なくする方針をとる。

ビーコン発信機を部屋に設置し、ビーコン受信機をユーザに携帯させることで、ユーザが部屋にいるかどうかを検知できる。ユーザがどの部屋にいるかを表す情報を、ユーザの居場所

情報と呼ぶ。しかし、検知の際、ビーコン発信機とビーコン受信機の間には遮蔽物が存在すると、正しく検知されない場合がある。ユーザ自身も遮蔽物の 1 つである。そのため、多人数のユーザが存在する部屋の中で、ユーザの居場所情報を取得することは困難である。本稿では、検知を行う部屋を、会議室として説明する。会議の目的で会議室を使用する場合、座席の位置は固定であると仮定する。また、ユーザは着席しているものとし、頻繁に移動しないものとする。

本稿では、ユーザの居場所情報を認証情報の 1 つとする、ログイン機構を実現し、ペーパーレス会議システム Wisdom Web Conference (WWC)^{*2}に応用する。WWC は、事前にサーバにアップロードされた、会議に用いる pdf ファイル、pptx ファイルを、会議中に閲覧することができる、iPad 用のアプリケーションである。WWC では、共通の認証情報をユーザ間で共有する。会議の際は、WWC をインストールした iPad を配布して運用する。本機構を WWC に応用することで、共通の認証情報が漏洩した場合でも、居場所が適切でないユーザの、WWC による会議に用いた pdf ファイル、pptx ファイルの閲覧を制限することができる。

2. 関連研究と基盤技術

梅澤らは、普段我々が利用する携帯端末を、認証のための鍵として利用する手法で、認証機構の利便性の向上を図った [梅澤 12]。梅澤らの手法では、携帯端末に保存された認証情報を、他の端末に委譲することで認証を行う。認証情報の入力を、携帯端末を近づける行為で完結させることで、認証に必要な作業を簡略化している。本機構では、ユーザ ID やパスワードといった認証情報の入力は、従来の手入力を採用する。従来の手法を適用することで、ログイン機構のユーザビリティを保証する。その他の認証情報は、ユーザの手入力を必要としない。ユーザの手入力の必要をなくすることで、本機構の利便性とユーザビリティを保つ目的がある。

本機構は、認証情報の 1 つとしてユーザの居場所情報を用いる。ユーザの居場所情報を取得するための概念として、ジ

連絡先: 渡邊 正人, 名古屋工業大学大学院創成シミュレーション工学専攻, 愛知県名古屋市昭和区御器所町, 052(732)2111, masatow@toralab.org

^{*1} <https://developer.apple.com/ibeacon/>

^{*2} <http://www.wisdomweb.co.jp/Conference/Top.html>

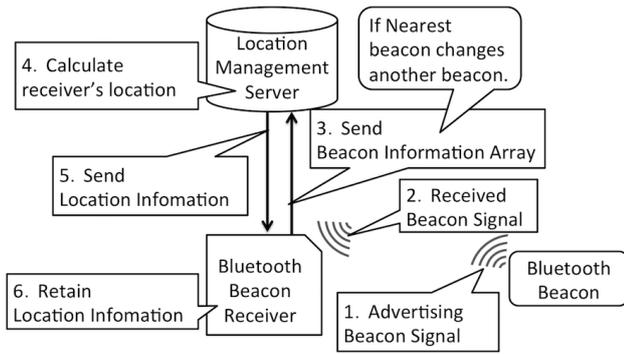


図 1: ビーコン受信機の居場所情報の更新と保持

オフenseがある。ジオフェンスは、地理上に引かれる仮想的な境界線のことで、ジオフェンスによって区切られる領域へのユーザの進入および領域からの退出を検知することができる。屋外でジオフェンスを実装する際は、Global Positioning System (GPS) からユーザの地理情報を取得することが一般的である。屋外におけるジオフェンスは、すでに様々な場面での応用がなされている [Reclus 09]。

ユーザの居場所情報は、壁で囲まれた部屋単位で取り扱う。ある部屋の中にユーザがいるかどうかを判定しユーザの居場所情報を更新する。屋内での測位技術は様々あり、運用コストや精度も様々である [河口 14]。本研究では iBeacon を用いる。

3. Bluetooth ビーコンを用いた多人数の居場所認識

本機構は、ユーザを認証するために、ユーザの居場所情報を取得する必要がある。ユーザの居場所情報を取得するために、ビーコンを用いる。ビーコンに対応するデバイスとして、MyBeacon^{*3}、iPhone 6^{*4}、iPad Air^{*5}を用いる。MyBeacon は、ビーコンを発信する機能のみをもち、iPhone 6 および iPad Air は、ビーコンを発信する機能およびビーコンを受信する機能をもつ。ビーコン受信機は、1 秒毎に受信可能なすべてのビーコンから情報を取得する。ビーコンから取得可能な情報を Beacon Information (BI) と呼ぶ。BI には、UUID, Major, Minor, Proximity, RSSI, Accuracy がある。UUID は、本機構を組み込むアプリケーションの ID として扱う。ビーコン受信機は、他のアプリケーション用の UUID をもつビーコンを受信することができない。Major は居場所情報の ID として扱う。Minor は同一の Major におけるビーコンの ID を表す。Proximity は、ビーコン発信機とビーコン受信機間の距離を表す評価値である。Proximity は 4 段階あり、近い順に Immediate, Near, Far, Unknown とラベル付けされている。Proximity ビーコン受信機でのみ取得でき、ビーコン発信機からは取得できない。RSSI はビーコンの受信信号強度である。Accuracy は、ビーコン発信機とビーコン受信機間の距離の精度誤差であり、メートル単位で取得できる。受信可能なすべてのビーコンの UUID, Major, Minor, Proximity を Location Management Server (LMS) に集約し、ユーザの居場所情報を計算する。

*3 http://www.aplix.co.jp/?page_id=10721

*4 <https://www.apple.com/jp/iphone-6/>

*5 <https://www.apple.com/jp/ipad/>

ユーザの居場所情報は、ユーザが携帯するビーコン受信機に保持され、ビーコン受信機が受信可能なビーコンによって、適宜更新される。ユーザの居場所情報は、ユーザが携帯するビーコン受信機の居場所情報と同一のものとして扱う。図 1 に、ユーザの居場所情報の更新および保持の流れを示す。ビーコン発信機が、居場所毎に設置されており、ビーコンを発信している前提で説明する。ビーコン受信機は、受信したすべてのビーコンから BI を取得し、すべての BI を格納した配列 Beacon Information Array (BIA) を、LMS に送信する。BIA 内の BI は、受信した段階で RSSI を元に降順ソートされる。すなわち、RSSI が強い順にソートされる。LMS では、BI の内、UUID, Major を元に、ユーザの現在の居場所情報を判定する。その後、Minor, Proximity, RSSI, Accuracy を元に、居場所情報を更新するかどうかを決定する。居場所情報を更新する場合、ビーコン受信機に判定結果の居場所情報を送信する。ビーコン受信機は、居場所情報を受信し次第、既に保持している居場所情報を破棄し、新しい居場所情報に更新する。

本機構は、会議室で用いるアプリケーションに組み込むことを想定している。会議の場面では、ユーザは座席に着いて会議に参加する。すなわち、ユーザの居場所情報が会議室を表すかどうか判定するためには、座席の付近にユーザがいることを認識できればよい。そのために、会議室の適切な場所にビーコン発信機を設置する必要がある。これをビーコン発信機レイアウト問題とし、式 1 のように表す。ただし、会議室を n 個の部分領域に分割する^{*6}とし、各領域には、高々 1 名のユーザが存在するとする。各領域には高々 1 個のビーコンを設置する。ビーコン発信機とビーコン受信機の間ユーザが存在する可能性を考慮すると、 n 個に分割した領域に 1 つずつビーコンを配置したとしても、誤検知の可能性がある。そのため、1 つのビーコン受信機に対して、 $k > 1$ 個のビーコン発信機を用いて検知を行うことが望ましい。

$$\operatorname{argmin} \left| \bigcup_{i=1}^m B_{s_i} \right| \quad (1)$$

ただし、以下の式 2, 3 を満たす必要がある。

$$B_{s_i} = \{b_j \mid b_j \in B, \neg \operatorname{attn}(s_i, b_j), \operatorname{near}(s_i, b_j)\} \quad (2)$$

$$|B_{s_i}| \geq k \quad (3)$$

B_{s_i} は、式 2 のように定めた b_j の集合である。 $\operatorname{attn}(s_i, b_j)$ は、 s_i と b_j の間に遮蔽物があれば真を返し、なければ偽を返す関数である。すなわち、 $\neg \operatorname{attn}(s_i, b_j)$ によって、 b_j の条件として、 s_i と b_j の間に遮蔽物がないことを表している。 $\operatorname{near}(s_i, b_j)$ は、 s_i と b_j が近ければ真、遠ければ偽を返す関数である。 B_{s_i} は式 3 によって制約される。 k は、同じ b_j を持つ B_{s_i} の数である。

3.1 座席情報に基づくビーコン発信機の配置

本機構を運用するためのフェーズが二つあり、認証情報設定フェーズおよびビーコン発信機配置フェーズと呼ぶ。認証情報設定フェーズは、本機構が検証する認証情報を決めるフェーズである。ビーコン発信機配置フェーズは、ビーコン発信機レイアウト問題を解くことで、ビーコン発信機をどのように配置するか決めるフェーズである。以下は、ビーコン発信機配置フェーズの説明である。本機構がユーザの居場所情報を取得するためには、ビーコン発信機を居場所毎に適切に配置する必要がある。しかし、本機構を導入したアプリケーションの管理者

*6 ここでは、分割方法については議論しない。分割方法の例として、格子状に分割する方法が考えられる。

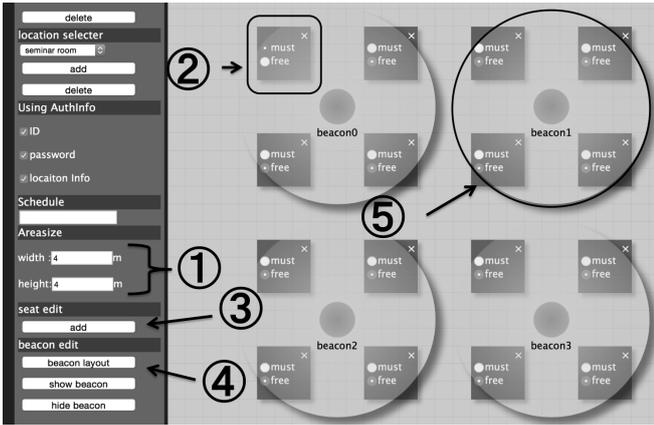


図 2: ビーコン発信機の配置の生成図

が、ビーコン発信機を居場所毎に適切に配置できるとは限らない。ビーコン発信機の適切な配置方法は、システムによって自動的に生成されることが望ましい。

図 2 に、ビーコンのレイアウトを決定するためのユーザインタフェースを示す。まず、会議を行う領域の広さを図 2 中の ① によって与える。会議を行う領域は、会議室における座席が占める領域を想定している。次に、図 2 中の ② を会議を行う領域に追加する。図 2 中の ② は、座席を表すオブジェクトであり、図 2 中の ③ に示す add ボタンによって、会議を行う領域に追加される。最後に図 2 中の ④ 示す beacon layout ボタンによって、図 2 中の ③ が適切な座標に配置される。図 2 中の ⑤ は、ビーコン発信機と、そのビーコン発信機によるビーコンの Proximity が Near になり得る範囲を表すオブジェクトである。図 2 中の ⑤ を目安にして、ユーザはビーコン発信機を配置することができる。

Algorithm 1 Beacon Layout Generate Algorithm

Input: $\{s_1, s_2, \dots, s_m\}, \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ as B
Output: BS

```

1: for  $i = 1$  to  $m$  do
2:    $B_{s_i} \leftarrow \{b_j | b_j \in B, \neg \text{attn}(s_i, b_j), \text{near}(s_i, b_j)\}$ 
3: end for
4: for  $j = 1$  to  $n$  do
5:    $S_{b_j} \leftarrow \{s_i | b_j \in B_{s_i}\}$ 
6: end for
7:  $\mathbf{c} \leftarrow (0, 0, \dots, 0)$ 
8:  $\mathbf{q} \leftarrow \text{sort}(\{S_{b_1}, S_{b_2}, \dots, S_{b_n}\}) // S_{b_i}$  のサイズでソート
9:  $BS \leftarrow \{B_{s_1}, B_{s_2}, \dots, B_{s_m}\}$ 
10: for  $i = 1$  to  $n$  do
11:    $S_b \leftarrow \mathbf{q}_i$ 
12:   for  $s_j \in S_b$  do
13:      $\mathbf{c}_j \leftarrow \mathbf{c}_j + 1$ 
14:   end for
15:   if  $\min\{\mathbf{c}_1, \mathbf{c}_2, \dots, \mathbf{c}_n\} \geq k$  then
16:      $\text{removeBeacons}(BS, \{b' \in S'_b | S'_b \in \mathbf{q}_{i+1}, \dots, \mathbf{q}_n\})$ 
17:   end if
18: return  $BS$ 
19: end for

```

ビーコンの配置生成アルゴリズムを Algorithm 1 に示す。座

席の座標 s_i のリストと b_j のリスト B を入力とし、部屋に設置するビーコン発信機の座標 b_j のリストを出力する。1~7 行目は、8~18 行目までの処理に必要な変数の初期化である。5 行目の S_{b_j} は、 b_j を B_{s_i} に含むような s_i の集合である。7 行目の \mathbf{c} は、 s_i がいくつの S_{b_j} に含まれるかを保存するための配列である。9 行目の BS は、 B_{s_i} の集合であり、10~18 行目の処理によって、不要な b_j が B_{s_i} から削除される。15 行目では、全ての \mathbf{c} の要素が閾値 k 以上かをチェックしている。閾値 k は、 s_i を監視するための b_j の個数の最小数である。15 行目の条件が真となるとき、16 行目の $\text{removeBeacons}(BS, \{b' \in S'_b | S'_b \in \mathbf{q}_{i+1}, \dots, \mathbf{q}_n\})$ を実行する。 $\text{removeBeacons}(BS, \{b' \in S'_b | S'_b \in \mathbf{q}_{i+1}, \dots, \mathbf{q}_n\})$ によって、 BS から、不適切な b_j を取り除き、 BS を返値とする。

3.2 ユーザの居場所情報取得方法

ユーザの居場所情報の取得方法を説明する。ユーザ A の居場所情報が CR だと認識する場合に説明する。Algorithm 1 に従ってビーコン発信機 b_j がすでに配置されているとする。Algorithm 2 によって、ユーザ A がいる座席 s_a を判定する。入力は、 CR の座席の座標 $\{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ と、 b_j から受信したビーコンの信号強度のリスト \mathbf{x} の 2 種類である。1 行目は、2~10 行目までの処理に必要な変数の初期化である。3 行目の $RSSI(s_i)$ は、 s_i の位置で $b_j (j = 1, 2, \dots, m)$ によるビーコンを受信したときの、RSSI のリストを返す関数である。 $RSSI(s_i)$ によって得られた r および \mathbf{x} を、4 行目の $\text{score}(r, \mathbf{x})$ に入力すると、 r と \mathbf{x} の類似度に応じた 0~1 までの値 sim が得られる。 sim の最大値を max とし、2~10 行目の処理によって、 sim が max のときの s_i を返す。例の場合、 s_i を s_a とする。

LMS によって s_a が判定可能なとき、LMS はビーコン受信機に、ユーザ A の居場所情報として、 CR を表す居場所情報を送信する。 s_a そのものは、LMS に保存される。 s_a は、後述する本機構の認証情報を設定する Web アプリケーションにて利用する。

Algorithm 2 Detection Algorithm

Input: $\{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ as \mathbf{s} , $\{x_1, x_2, \dots, x_h\}$ as \mathbf{x}
Output: s

```

1:  $\text{max} \leftarrow 0$ 
2: for  $s_i \in \mathbf{s}$  do
3:    $r \leftarrow RSSI(s_i)$ 
4:    $\text{sim} \leftarrow \text{score}(r, \mathbf{x})$ 
5:   if  $\text{sim} > \text{max}$  then
6:      $\text{max} \leftarrow \text{sim}$ 
7:      $s \leftarrow s_i$ 
8:   end if
9: end for
10: return  $s$ 

```

3.3 Bluetooth ビーコンを利用したログイン機構の認証情報の設定

本機構を運用するためには、本機構が検証する認証情報を、あらかじめ決定する必要がある。認証情報を設定するために LMS と連携する Web アプリケーションを実装した。本 Web アプリケーションによって、個々のユーザが認証可能な状態かどうかおよび、ユーザ全員が認証可能な状態かどうかを視視化することができる。

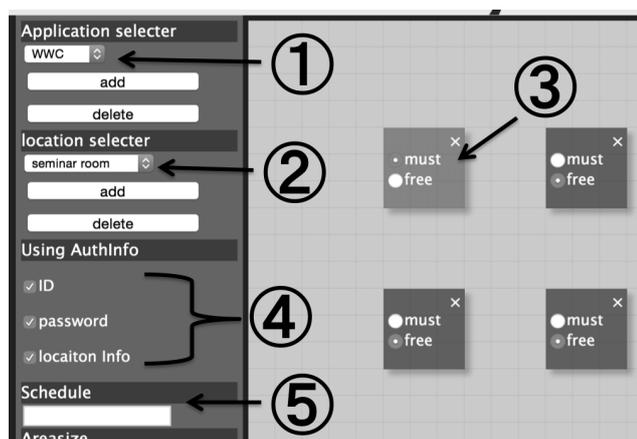


図 3: 認証情報の設定用ユーザインタフェース

図 3 に、本 Web アプリケーションのユーザインタフェースを示した。図 3 中の ① に、本機構を組み込んだアプリケーションの内、どのアプリケーションの認証情報を制御するか設定するプルダウンメニューを示した。図 3 中の ① の直下には、add ボタンと delete ボタンがある。add ボタンを押すと、ダイアログが表示される。ダイアログに、アプリケーションの名前と UUID を入力すると、認証情報を設定するアプリケーションの種類を追加することができる。delete ボタンを押すと、認証情報を設定中のアプリケーションを、設定不可能にすることができる。図 3 中の ② のプルダウンメニューによって、認証情報を設定する部屋を切り替えることができる。部屋毎に座席の座標や、座席に関する認証情報は異なる。図 3 中の ② の直下にも add ボタンと delete ボタンがある。add ボタンを押すと、認証情報を設定する部屋が追加され、delete ボタンを押すと、選択中の部屋が、図 3 中の ② から削除される。図 3 中の ③ は、座席の座標を表すオブジェクト（座席オブジェクト）である。ラジオボタンが設置されており、その座席にユーザがいることを認証情報として扱うか設定することができる。また、x ボタンをクリックすることで、座席オブジェクトを消去することができる。座席オブジェクトはドラッグ&ドロップによって座標を決める。図 3 中の ④ のチェックボックスによって、ユーザ ID、パスワードおよびユーザの居場所情報を認証情報として扱うかどうかを設定できる。実際に認証を行うのは、専用の認証サーバであり、本システムによって認証は行わない。ユーザ ID およびパスワードを認証情報として扱わない場合、本機構によってログインをする際の手入力が必要なくなる。図 3 中の ⑤ によって、認証可能な時間帯を設定することができる。会議が定時に開催される場合、図 3 中の ⑤ によって設定された時間外の認証を制限することができる。

4. Bluetooth ビーコンを利用したログイン機構の試作

本機構によって、WWC における課題の解決と、WWC の利便性の向上を実現できる。WWC は、会議室やオフィスといった決まった場所で運用されるため、本機構の応用先として適切である。WWC では、共通の認証情報として、pptx ファイルおよび pdf ファイル（会議資料）をアップロードしたサーバ名、トークンという二種類の認証情報を用いる。サーバ名、トークンを、会議の参加者間で共有して運用する。WWC を

使用するための iPad は、会議のたびに会議の参加者に配布する。配布されるたびにサーバ名、トークンを入力するのは煩雑なため、WWC は、サーバ名、トークンをキャッシュする機能を持つ。以上の運用方法では、認証情報の漏洩リスクの面で課題があった。

本機構を応用することで、会議室以外の場所での WWC の使用を制限できる。例えば、認証情報が漏洩した際、会議資料が漏洩するリスクを低減することができる。さらに、共通の認証情報の配布や、認証情報のキャッシュ機能をそのままに、ログイン機構を実現することができる。これにより、WWC の標準のログイン機構の利便性を維持することができる。

本機構を WWC に応用するために、 $near(s_i, b_j)$ を設計する必要がある。 $near(s_i, b_j)$ は、 b_j によって発信されたビーコンを s_i が受信した際、Proximity が Near か Immediate であれば、真を返す。それ以外は偽を返す。

5. おわりに

一つのビーコン発信機のビーコンによって、できるだけ多くのビーコン受信機を動作させる枠組みを実装した。この枠組みを応用することで、ビーコン発信機を部屋に適切に配置することで、ビーコン受信機が部屋の中にあるかどうかを検知することができる。ビーコン受信機をユーザに携帯させることで、ビーコン受信機の居場所情報とユーザの居場所情報を同一とみなすことができ、ユーザの居場所情報を取得することができる。この方法でユーザの居場所情報を取得する際、ユーザ同士がビーコンの遮蔽物となってしまうため、多人数のユーザが同時に部屋にいる場合に課題があった。本稿では、ビーコン発信機レイアウト問題を解くことで、この課題を解決した。

ユーザの居場所情報を取得するためには、居場所毎にビーコン発信機を設置する必要がある。本機構のサブシステムとして、ビーコン発信機の配置方法を生成し、可視化する Web アプリケーションを実装した。本アプリケーションは、座席の位置が決まっている部屋での、ビーコン発信機の配置の仕方を生成できる。本アプリケーションは、会議室を、座席の位置が決まっている部屋として想定している。本アプリケーションでは、会議室の座席の情報を入力すると、ビーコン発信機の適切な配置方法が可視化される。さらに、本アプリケーションによって、部屋毎にどのような認証情報がログインに必要な設定することができる。

参考文献

- [渡邊 14] 渡邊 正人, 片山 真也, 白松 俊, 大園 忠親, 新谷 虎松: 「テレパシー・ジェスチャー: Bluetooth ビーコンを用いた新しいユーザインタフェースの提案」, 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会講演論文集, N1-7, 中京大学, 2014.
- [梅澤 12] 梅澤 克之, 磯川 弘実, 加藤 崇利, 萱島 信, 手塚 悟: 「端末連携認証システムの開発と評価」, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.9, pp.2094-2106, 2012.
- [河口 14] 河口 信夫: 「測位技術の変遷」, 電気学会誌, Vol.134, No.12, pp.832-835, 2014.
- [Reclus 09] Reclus, Fabrice, and Kristen Drouard. "Geofencing for fleet & freight management." Intelligent Transport Systems Telecommunications, (ITST), 2009 9th International Conference on. IEEE, 2009.