

ユーザ設置ビーコンを用いた通知環境の構築

橋本 修平¹ 山本 修平¹ 西出 亮² 高田 秀志²

概要: 位置測位技術の発展に伴い, ユーザの位置に応じた情報を自動的に受け取ることのできるサービスが開発されている. ビーコンを用いた通知環境は屋内環境にも適しているものの, ビーコンを適切な場所に設置し, 電波強度によって通知場所を設定するなどの作業が必要となる他, 通知を行う場所の増減に伴い, ビーコンの数や設置場所を変えるという手間が発生する. そこで本研究では, 屋内空間においてユーザ自身が通知を行いたい場所それぞれにビーコンを設置することで細かな位置を指定した通知範囲を実現し, ビーコンの設置された場所に対して通知内容を紐付けるようにすることで, 容易に通知場所を設定できるようにする. さらに, 設置されたビーコン同士の信号強度 (RSSI) の関係を用いて決定される近接情報を管理することで, 通知が設定されたビーコンに近接している別のビーコンが検出された場合にも, その通知が行われるようにし, 通知漏れの発生を防止する. 実際にビーコンの RSSI を測定する実験を行い, 近接条件に適切な閾値を与えることができるかどうかの検証を行った結果, ビーコンから受信される信号強度は利用環境に依存するため, 利用環境に適した通知環境を構築するには, ユーザ自身によって通知範囲等の広さを調整できるようにすることが必要であることが分かった.

A Notification Environment Using User-Installed Beacons

SHUHEI HASHIMOTO¹ SHUHEI YAMAMOTO¹ RYO NISHIDE² HIDEYUKI TAKADA²

1. はじめに

近年, スマートフォンなどの携帯端末の普及に伴い, 位置情報を用いた多様なサービスが多くの人々に利用されており, 屋内での測位技術にも注目が集まっている. また, 位置測位技術を利用して, ある地点に入ると自動的にその位置に応じた通知を受け取ることのできるサービスが開発されている. 位置情報に基づいた通知を行うサービスには, Apple 社の提供する「リマインダー」などのアプリケーションが存在する. このようなアプリケーションでは, ユーザ自身が通知内容, 通知時間, 通知場所などを決定し, 通知内容を指定の通知場所で受信できる. しかし, リマインダーには通知の指定可能範囲が広いと, 細かな位置の指定ができないという問題点がある. また, 屋内環境において細かな位置の指定ができるように, 通知環境をビーコンを用

いて実現する際には, ビーコンを適切な場所に設置し, 電波強度によって通知場所を設定するなどの作業が必要となる. さらに, 通知を行う場所が増減すると, それに応じてビーコンの数や設置場所を変えるという手間が発生する.

そこで本研究では, 屋内空間においてユーザ自身が通知を行いたい場所それぞれにビーコンを設置することで細かな位置を指定した通知範囲を実現し, ビーコンの設置された場所に対して通知内容を紐付けるようにすることで, 容易に通知場所を設定できるような通知環境を実現する. さらに, ビーコンに紐づけられた通知を受信できる範囲 (以下, 通知範囲) に必ずしも入らなくても通知が行われるようにすることで, ビーコンの通知範囲のみでしか通知を受け取ることができず, 通知漏れが発生するという問題を解消する. これには, ユーザによって設置される複数のビーコンからの信号強度 (RSSI) を用いて決定される, ビーコン同士の近接情報を利用する.

本環境の構築に際して, まず, どの程度ビーコンに近づいたら通知を行うかの範囲を決定する必要がある. また, 通知範囲に入らなくても通知が行われるようにするため

¹ 立命館大学大学院情報理工学研究所
Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

² 立命館大学情報理工学部
College of Information Science and Engineering, Rit-
sumeikan University

に、どの程度ビーコン同士が近ければ近接しているとみなすのかの距離を決定する必要がある。本研究では、これらの決定を RSSI に基づいて行うために、実際にビーコンの RSSI を測定する実験を行い、適切な閾値を設定できるかどうかの検証を行う。

2. 研究背景

2.1 既存の通知環境

前述したように、Apple 社の提供しているリマインダーは、指定された時間や場所に携帯端末が到達することでユーザの入力した内容が通知されるサービスである。このサービスにおける場所を指定した通知に注目する。図 1 に、リマインダーを用いて通知場所を設定する様子を示す。この図からも分かる通り、リマインダーの指定可能な通知範囲は、屋内環境での測位精度を考慮して、最小半径を 100m と定めており、通知場所の精度の荒さが問題となる。



図 1 Apple 社のリマインダー

屋内測位の方法としては、Wi-Fi や Bluetooth の電波強度によるフィンガープリンティング手法 [1] が存在する。これは、システムを適用する環境における多数の地点であらかじめ電波強度の観測を行い、その値とユーザの保有する携帯端末で取得される値を比較することで位置を推定するというものである。しかし、この方法を適用するには多数の場所で電波強度の観測を行う必要がある他、通知場所の増減に伴い、各場所で電波強度の再観測が必要となり得る。こうしたことから、フィンガープリンティング手法を用いた通知環境の実現には、導入負荷が高いという問題が

ある。

2.2 ビーコンを用いた通知環境

Bluetooth ビーコン（以下、ビーコン）を用いて、ビーコンに接近した携帯端末に対して自動的に広告等の情報を通知するサービスが開発されている [2]。ビーコンを用いたサービスは、衣服を販売する店舗などで実用化されており、情報配信を行う運営側がビーコンを店内に配置し、来店客へのポイント付与や商品の情報配信をその店を訪れる顧客に対して行っている。

ビーコンを用いた通知環境には、細かい範囲で通知内容を設定できるという利点がある一方で、その範囲に入らなければ通知を行うことができないという問題もあるため、リマインダーのようなサービスに適用するには必ずしも適しているとは言えない。

2.3 関連研究

歩行者の保有する Bluetooth が組み込まれた携帯端末と、固定の位置に設置された Bluetooth 端末間の距離から位置の推定を行うにあたり、Bluetooth の電波強度と距離の関係性についての評価が行なわれている [3]。この研究では、RSSI が周りの障害物による電波干渉を受けやすいことや、近距離であれば位置推定に利用可能な精度を保った RSSI が取得できることが示されている。

また、携帯端末を利用して、屋内のどの位置に自身が存在するかを推定し、学内のマップ上に位置を示すための研究が行われている [4]。この研究では、2つのビーコンの midpoint に携帯端末が存在するかどうかを判断して位置推定を行っており、2つのビーコンの midpoint の判定には、2つのビーコンからの RSSI の差分値を用いている。また、RSSI の安定率の低さから信憑性の低い値が観測されることを考慮し、RSSI 値を 5 回 1 セットで観測し、そのうち最大最小のものを除外することで値の信憑性を高めている。

3. ユーザ設置ビーコンを用いた通知環境

本章では、ユーザ設置ビーコンを用いた通知環境の機能と実装について述べる。

3.1 機能

3.1.1 利用環境

本環境の利用イメージは以下の通りである。はじめに、ユーザ自身が任意の場所にビーコンを設置し、適当な名前を付ける。次に、設置したビーコンの名前に対して通知内容の紐付けを行い、設置したビーコンの発信する信号をユーザの持つ携帯端末が受信した時点で通知を受ける。また、ユーザの保有する携帯端末が複数のビーコンからの信号を受信し、それらの RSSI 値が条件を満たしていることを認識することで、設置したビーコン同士が近距離に存在

することを判断する。その後、ユーザは一方のビーコンの信号を受信することで、近接するもう一方のビーコンに紐づく通知も受け取ることができる。

本研究で構築する通知環境は大きく分けて2つの機能を持つ。ひとつ目は「通知内容の登録」である。この機能を用いることで、本システムのユーザは自身の設置したビーコンに対して通知したい内容を紐付けることができる。ふたつ目は「通知の実施」である。「通知内容の登録」によってビーコンに紐付けられた通知内容が、そのビーコンの通知範囲に侵入した携帯端末に対して通知される。

本環境を利用している状況の例を図2に、本環境の動作を図3に示す。図2におけるビーコンA、Bはユーザが任意の場所に設置したものである。通知範囲は、ビーコンに紐づけられた通知内容を携帯端末が受信できる範囲を表す。近接範囲は、2つのビーコンの近接範囲が重なり合う場合に近接していると判断するための範囲である。

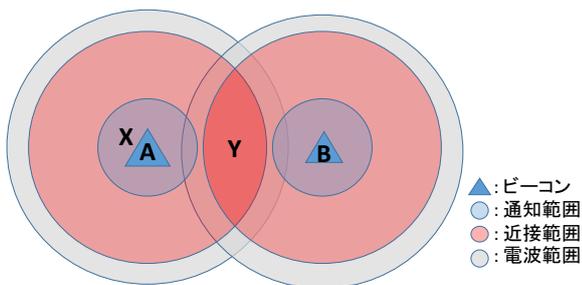


図2 利用状況の例

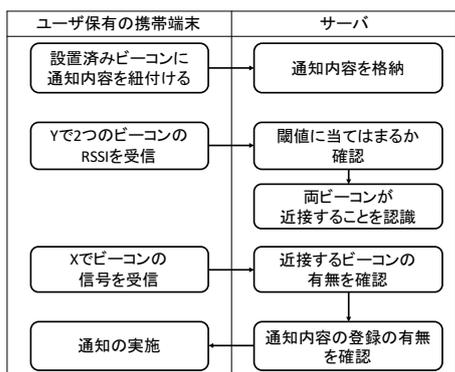


図3 本通知環境の動作

3.1.2 通知機能

ユーザはそれぞれのビーコンA、Bに通知内容を紐付けることができる。図4に示すように、携帯端末上には設置

したビーコンの一覧が表示される。この中から一つを選ぶと、図5に示すように、そのビーコンに対して通知内容を紐付けることができる。

携帯端末がビーコンAの通知範囲に存在する場合、ビーコンAに紐付いた通知が実行される。一方で、もし携帯端末がビーコンBの通知範囲に入らなかった場合には、ビーコンBの通知内容は通知されない。そこで本研究では、ビーコンBに近接しているビーコンAの通知範囲に携帯端末が入った場合にも、ビーコンBの通知内容が通知されるようにする。

ビーコン同士が近接しているかどうかは、図2におけるエリアYのように、ビーコンAとビーコンBの近接範囲に携帯端末が存在するかどうかを元に、サーバが自動的に判定する。ビーコン同士の近接判定には、ビーコンからのRSSIの和を利用する。



図4 ビーコン選択画面

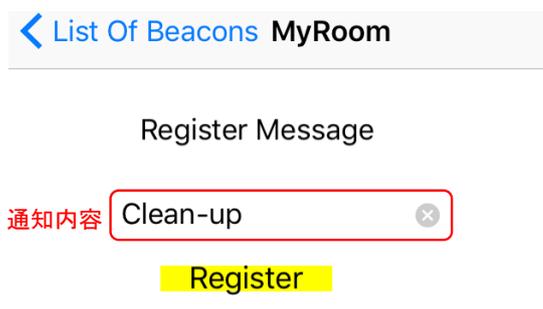


図5 通知内容登録画面

3.2 実装

3.2.1 システム構成

本通知環境は、携帯端末とサーバで構成される。携帯端末では、設置したビーコンに対して通知内容を紐付けたり、紐づけた通知内容を受信する。また、サーバでは、ビーコンから発信される信号から得られるUUIDと通知内容を紐

付けるほか、設置したビーコン同士の近接情報を管理する役割を果たすデータベースを管理する。

3.2.2 データベースの構築

本通知環境におけるデータベースの構造は以下の通りである。

はじめに、ユーザの設置したビーコンの UUID とそれに紐づく名称、通知内容を格納する info テーブルを図 6 の上部に示す。info テーブルには UUID と name が格納されており、ユーザが通知内容を登録すると、message にその内容が格納される。次に、どのビーコン同士が近接しているかを示す prox テーブルを図 6 の下部に示す。prox テーブルには、主キーである id、近接しているビーコンの UUID が格納されており、rssi には近接する 2 つのビーコンからの RSSI の和が格納される。

info テーブル

UUID	name	message
5A4... 7E5	Living	Replace a light bulb
742... 935	Kitchen	There's food in the fridge
E2C... 6E0	MyRoom	Clean-up
E2C... 6D0	Entrance	Clean the air
B94... E6D	Bathroom	Refill a bottle with rinse

prox テーブル

id	uuidA	uuidB	rssi
1	5A4... 7E5	742... 935	
2	E2C... 6E0	E2C... 6D0	

図 6 データベース

3.2.3 通知内容の登録

はじめに、ユーザが設置したビーコンの名称を前述の info テーブルから取得し、携帯端末の画面上に表示する。次に、ユーザの入力した通知内容が、info テーブルにおける message に格納される。これにより、ビーコンに対する通知内容の紐付けが完了する。

3.2.4 ビーコン信号の受信と通知

携帯端末は、ビーコンから発信される信号から UUID を取得し、サーバに問い合わせる。サーバは、その UUID に対応する通知内容を携帯端末に返信する。また、prox テーブルを参照し、近接するビーコンの登録がある場合には、そのビーコンに紐づく通知内容も返信する。

4. 評価実験

4.1 実験の方針

RSSI を用いた位置推定には、RSSI に閾値を設ける方法や、大小比較を行う方法がある [5]。そこで本研究では、ビーコンの通知範囲を決定する閾値と、ビーコン同士の近接判定を行うための閾値を決定するのに必要な情報を収集

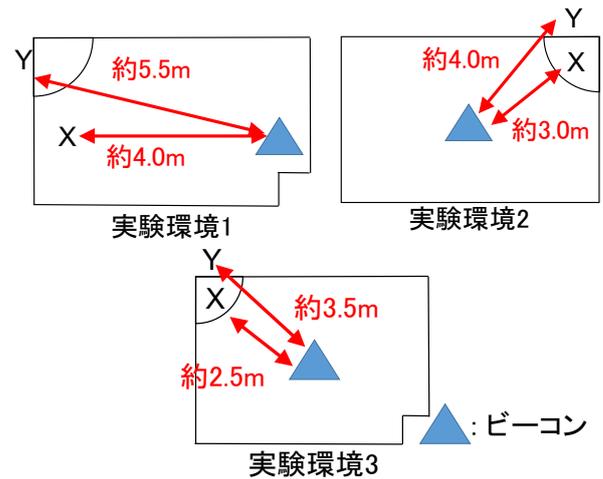


図 7 単一ビーコンの RSSI 値の測定実験環境

するための実験を行った。本章では実験内容と実験結果、その考察について述べる。

本実験では、屋内に設置するビーコンに、「xBeacon」というアプリケーションを導入した iPhone6S を用い、ビーコンを検知する端末に「Beacon Scan」というアプリケーションを導入した MacBook を用いた。

4.2 単一ビーコンの RSSI 値の測定

本実験では、携帯端末が通知範囲に入ったかどうかを識別する閾値を決定するために、単一ビーコンに対する RSSI 値の測定を行った。

4.2.1 実験内容

実験を行った環境を図 7 に示す。本実験は、図 7 に示すように、広さや間取りの異なる実験環境 1, 2, 3 にビーコンを設置することで行った。なお、図 7 における地点 X はビーコンを設置した室内での RSSI 観測地点、地点 Y は室外での RSSI 観測地点を表している。また、設置されたビーコンから観測地点までの距離を図中に赤字で示している。図中の直線は壁を、弧を描く線は扉を示している。実験は扉を閉めた状態で行った。

4.2.2 実験結果

本実験では、RSSI の不安定さから生じる観測結果の信憑性の低さを解消するために、観測した 20 回分のデータを 5 回 4 セットに区切り、1 セット分の値のうち、最大最小の値を除いた 3 つの RSSI の平均を求めた。

図 7 で示したそれぞれの実験環境における地点 X, Y で観測された 4 セットの RSSI の平均値を図 8 に示す。また、それぞれの実験環境で観測された RSSI の 4 セット分を平均した値を表 1 に示す。

4.2.3 考察

図 8 より、部屋の内と外を区別することができるような、全ての環境に対して共通の閾値を定めることはできないことがわかる。また、ビーコンを設置する部屋の広さや構造

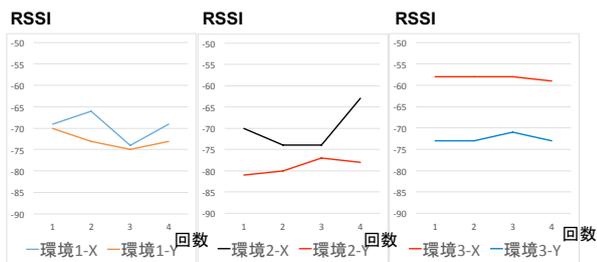


図 8 実験環境 1, 2, 3 における地点 X, Y での RSSI の観測結果

表 1 それぞれの実験環境における平均 RSSI

	地点 X	地点 Y
実験環境 1	-70	-73
実験環境 2	-70	-79
実験環境 3	-58	-73

などの利用環境に依存して RSSI が変動することからも、閾値を固定して本通知環境を実現することは妥当ではないと考えられる。そこで、ビーコンごとの通知範囲をユーザによって決定できるような環境を構築することで、利用環境に適した通知範囲を実現できると考えられる。例えば、通知範囲の広さには、「狭い」「普通」「広い」の 3 種類を用意し、それぞれ RSSI における閾値を 0~50, 0~60, 0~70 とする。本実験結果に対して、「普通」を通知範囲に適用した場合、図 7 の実験環境 3 における通知範囲を、部屋の中とすることができる。

4.3 2つのビーコンの RSSI 値の測定

本通知環境では、ビーコン同士が近接しているかどうかの判定を行う必要がある。近接判定には、それぞれのビーコンから得られる RSSI の和を用いる。また、RSSI の和に閾値を設定することにより、設置したビーコン同士が近接しているかどうかを判定する。本実験では、この RSSI の和に対する閾値の検討を行った。

4.3.1 実験内容

本実験は、住宅内においてビーコンを隣り合う 2 つの部屋に設置した場合と、隣りあわない 2 つの部屋に設置した場合で RSSI の和を比較した。実験を行った環境を図 9 に示す。2 つのビーコンの RSSI 値の測定は、図 9 中の X, Y, Z 地点で行った。X 地点では、近接するビーコン A, B から得られる RSSI 値の観測を行い、Y 地点では、近接しないビーコン A, C と B, C から得られる RSSI 値の観測を行った。また Z 地点では、近接するビーコン C, D から得られる RSSI 値の観測を行った。

4.3.2 実験結果

本実験では、単一ビーコンからの RSSI 値を測定した時と同様に、観測した 20 回分のデータを 5 回 4 セットに区切り、1 セット分の値のうち、最大最小の値を除いた 3 つの RSSI の平均を求めた。各地点で観測した 1 セットごと

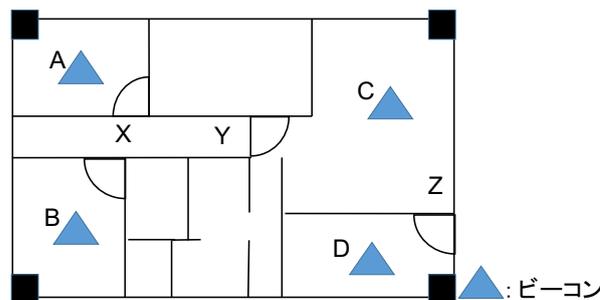


図 9 2つのビーコンの RSSI 値の測定実験環境

の値を、近接する環境と近接しない環境で比較した。この結果を図 10 に示す。図 10 における RSSI 値は、各ビーコンから観測された値の和を示している。また、それぞれの実験環境で観測された RSSI の和の 4 セット分を平均したものを表 2 に示す。

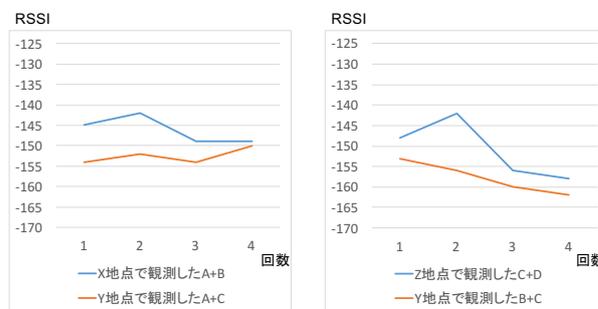


図 10 X, Y, Z 地点における RSSI 値の和の比較

表 2 それぞれのビーコンからの RSSI の和の平均値

	ビーコン	総平均値
近接	A+B	-146
非近接	A+C	-153
近接	C+D	-151
非近接	B+C	-158

4.3.3 考察

通知範囲を決定するための閾値の検討を行った際と同様に、本実験で得られる RSSI も利用環境に依存することが分かった。そのため、ビーコン同士の距離がどの程度近いことを近接とみなすかを、ユーザによって決定できるようにする必要があると言える。これを満たす環境を構築するには、ユーザ自身が近接度合いを選択できる項目を提供し、システムがそれに対応した閾値を設ける機能の追加が必要である。また、図 10 の示す結果から分かるように、全ての利用環境において、一定の閾値を用いた近接判定を行うことはできない。そこで、2 つのビーコンのほぼ中央に携帯端末が位置している場合に近接判定を行うことで、より高精度なビーコン間の近接判定を行えるようになると思われることから、RSSI の和のみを用いて近接判定を行うの

ではなく、それぞれのビーコンからの RSSI 値の差分値に閾値を設け、判定基準に加える必要があると考えられる。

例えば、ユーザ自身によって決定可能なビーコン同士の近接度合いを表す項目には、「とても近い」「近い」「普通」の3種類を用意し、それぞれに対応する RSSI の和を用いた閾値を-151~-160, -161~-170, -171~-180 とする。

4.4 実験のまとめ

屋内での位置を指定した通知環境の構築は、屋内環境に大きく依存することが分かった。これを考慮して、ユーザ自身が柔軟に通知範囲や近接範囲を決定できる環境構築を次のように行う必要がある。

- ビーコンの通知範囲を、ビーコン1台ごとにユーザ自身によって決定できるようにすること。
- 設置されたビーコン同士がどの程度近ければ近接とみなすかをユーザ自身が決定できるようにすること。

これらを決定する際、ユーザは、距離を表す幾つかの項目から最適なものを選択する。システムは選択された項目に対応する RSSI 値を閾値に設定することで、ユーザの求める通知範囲や近接度合いを実現する。これにより、図 11 に示すように、通知範囲やビーコンの近接度合いを柔軟に設定できるようになる。

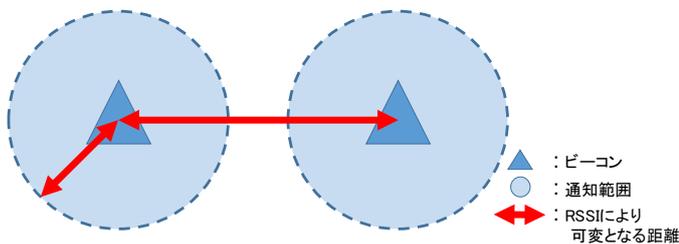


図 11 利用環境に応じた通知環境の構築例

5. おわりに

本論文では、ユーザが設置したビーコンを用いて通知を行う環境の構築について述べた。屋内での位置を指定した通知環境の構築は、屋内環境に大きく依存することから、ユーザ自身が柔軟に通知範囲や近接範囲を決定できる環境構築を行うことが重要である。そのためには、ユーザによって決定可能な可変の閾値を用いて、ビーコンに紐づく通知内容の通知範囲や、設置されたビーコン同士の近接度合いを決定できるようにする必要がある。

今後は、利用環境に最適な通知環境を構築可能にするために、ビーコンの通知範囲や近接度合いをユーザによって決定できるようにすることや、近接度合いを決定する際に利用するふたつのビーコンからの RSSI の差分値を自動で調整できるようなアルゴリズムを導出する。また、一つのビーコンに紐づく通知内容を複数個登録できるようにし、

携帯端末との距離に応じて通知する内容を変化できるようにする。さらに、登録した通知内容を近接によって共有するかどうかを指定できるようにするなどの、機能拡張を行う予定である。

参考文献

- [1] Anthony LaMarca, Yatin Chawathe, Sunny Consolvo, Jeffrey Hightower, Ian Smith, James Scott, Tim Sohn, James Howard, Jeff Hughes, Fred Potter, Jason Tabert, Pauline Powledge, Gaetano Borriello, Bill Schilit : Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild, IRS-TR-04-016, 2004.
- [2] <http://store.nanouniverse.jp/jp/pages/checkin.aspx>
- [3] 佐藤智美, 小宮山哲, 下田雅彦, 劉渤江, 横田一正 : Bluetooth の電波強度を用いた位置推定方式の検討, DEIM2011, B9-4, 2011.
- [4] 橋口稔, 行成功志, 藤野慶太, 田中康一郎 : iBeacon を用いたスマートフォン向けキャンパス館内マップの試作, 情報処理学会第 77 回全国大会, 6ZE-01, 2015.
- [5] 駒井清顕, 藤本まなと, 荒川豊, 諏訪博彦, 安本慶一 : 複数人の行動・移動状況の把握を目標とした iBeacon による存在領域判定システムの検討, マルチメディアと分散処理ワークショップ 2024 論文集, Vol.5, pp.71-77, 2015.