

# 部屋ごとの Wi-Fi と BLE Fingerprint の比較に基づく BLE ビーコンの移動および故障検出手法

池田 翔太<sup>1</sup> 成瀬 文尊<sup>2</sup> 梶 克彦<sup>2</sup>

**概要:** 本研究では, 部屋の Wi-Fi モデルと BLE モデルを用いて, ビーコンの電池切れや故障, ビーコンの移動などの不具合を検出する. 屋内位置推定や部屋認識, 公共施設のナビゲーションアプリに利用されるなど様々な用途で BLE ビーコン が使用されている. しかし, 居室情報にビーコンを使用する場合, 各部屋に 1 個または 複数個設置する必要があり管理者が各部屋に設置されたビーコンを一括して管理するのは困難であると考えられる. 提案手法では, Wi-Fi モデルと BLE モデルを含めた部屋モデルを作成し, 部屋に入室した時にその部屋の Wi-Fi と BLE の情報を観測し, それぞれのモデルと比較しビーコンの不具合を検出する. 部屋推定精度及びビーコン不具合検出実験を行い, 離れている部屋では部屋推定は 90%以上の精度で正解した. しかし, 隣同士の部屋では, 近くにあるビーコンの電波に影響され推定結果に差が見られた. また同じ Wi-Fi 基地局が検出できる環境では別の部屋と推定される可能性がある. 不具合検出では電池切れなどの故障は検出できた. また移動に関しても部屋推定の結果から検出できた.

## A BLE Beacon's Movement and Equipment Failure Detection Method Based on Comparison of Room-level Wi-Fi and BLE Fingerprints

Shota Ikeda<sup>1</sup> Fumitaka Naruse<sup>2</sup> Katsuhiko Kaji<sup>2</sup>

### 1. はじめに

屋内位置推定や部屋認識, 公共施設のナビゲーションアプリに利用されるなど様々な用途で BLE ビーコン (以下ビーコン) が使用されている [1][2]. 屋内位置推定は数 m おきに 1 個設置し近くを通った場合にビーコンの電波を受信し現在の推定に使用されている [3]. 部屋認識では小さな部屋には 1 個, 大きな部屋には複数個設置され部屋の入退室などを管理するために使用されている. ナビゲーションアプリではチェックポイントごとに配置され近くのチェックポイントや設置場所の情報を配信するために使用されている [4].

居室情報にビーコンを使用する場合, 各部屋に 1 個または 複数個設置する必要があり, 管理者が各部屋に設置されたビーコンを一括して管理するのは困難であると考えら

れる. 部屋に設置されたビーコンを一定期間ごとに動作点検しなければ電池切れなどの不具合が出た場合, 運用に障害が出てしまう. そのため, 各部屋に設置されているビーコンの点検を 1 つずつ行わなければならないが点検にコストがかかってしまう. また, ビーコンが移動されていた場合, どこに移動されているかを探す必要があり困難であると考えられる.

多くのビーコンを使用する場合, ビーコンの情報と配置を一括に管理する必要があると考えられる. ビーコンの動作点検をする場合, ビーコンは 6 ヶ月から 2 年間継続して稼働するので数ヶ月ごとの動作点検になると考えられる. しかし, 点検後に動作しなくなった場合, 次の動作点検までビーコンが動作していない状況になってしまう.

本研究では部屋の Wi-Fi モデルと BLE モデルを用いて, ビーコンの電池切れや故障, ビーコンの移動などの不具合を検出する. Wi-Fi モデルと BLE モデルとは, 各部屋の Wi-Fi と BLE の基地局が部屋の各地点でどのくらいの確率で観測できるか観測できないかを部屋ごとにまとめたも

<sup>1</sup> 愛知工業大学大学院 経営情報科学研究科  
Graduate School of Business Administration and Computer Science, Aichi Institute of Technology

<sup>2</sup> 愛知工業大学 情報科学部  
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology

のである。部屋に入室した時にその部屋の Wi-Fi と BLE の情報を観測し、それぞれのモデルと比較し部屋を推定する。推定後、モデルと観測したデータが同様の場合、正常に動作している可能性が高い。しかし、モデルと異なる場合ビーコンに不具合が発生している可能性が高い。

ビーコンに起こりうる不具合として電池切れ、故障、移動といった不具合を検出する。ビーコンは電池駆動のため長期運用の際には電池切れが起きる。また、ビーコンは小型で固定しにくい形状のものもあるため誤って移動される可能性がある。そのうえ、多くのビーコンを管理するためビーコン設置部屋を誤って設置する場合がある。

提案手法を使用するとビーコンの動作点検を自動で行えるようになり、定期的に1つ1つのビーコンの動作点検を行う必要がなくなる。また、自動で動作点検ができると運用中に不具合を検出できる。これにより点検後にビーコンの動作が停止しても停止期間を短くし運用が可能である。また、一括してビーコンを管理するので各部屋の責任者に頼らずに運用が可能である。

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

屋内位置推定や部屋推定の研究には無線 LAN やビーコンまたはスマートフォンの内蔵センサなどが多く使用されている。しかし、位置を検出する研究が多く端末の管理に着目した研究は少ない。

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が存在する。朝日らの手法 [4] 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の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管理としては有効であると考えられる。しかし、チェックポイントとして設置されているビーコンが移動されたり、必ず人がくるとは限らない場所に設置した場合、ビーコンが動作中か把握しきれないと考えられる。また、ビーコンの情報を送信してから確認するまでに多少のタイムラグが発生する可能性がある。本手法では誰かがビーコンの設置されている場所の範囲内に入れば動作中か確認できる。

学内 LAN を使用して位置推定をする場合、位置ごとの Wi-Fi の電波強度の測定が必要になる。新田らの手法 [5] のように無線アクセスポイントを使用して位置推定を行う

場合、アクセスポイントを考慮した電波強度の測定位置の決定が必要であったり、細かい位置を推定するため電波状況の測定箇所が多くなってしまふ。それに比べ、本手法では Wi-Fi と BLE の Fingerprint を作成する。位置ごとの Fingerprint ではなく、測定したデータを元に部屋ごとの Fingerprint を作成する。部屋ごとに作成すると、部屋内で自分がどの位置にいるかまでは把握できないがその部屋にいるかどうかは把握しやすくなる。なぜなら、部屋ごとで作成しているのが部屋内の基地局情報であれば部屋の中のどの位置にいても部屋にいると認識されるからである。

BLE デバイスの電波強度を使用した屋内位置推定をする場合、BLE の電波は Wi-Fi に比べ弱いので、大部屋や校舎内を測定するにはデバイスを設置する場所を数 m ごとなど決める必要がある。しかし、小教室や小部屋などは電波が弱くなる可能性があっても、届かなくなる可能性は低いと考えられる。藪らの手法 [6] では BLE 電波強度を使用した屋内位置測位に小教室を対象にしておき、電波が届かなくなるという可能性は低い。本手法でも廊下や校舎内ではなく部屋内に設置するため、BLE の電波を受信できなくなる可能性は低い。しかし、藪らとの研究と比べ講義室や大講義室なども想定しているため場所によっては受信できない場所が存在する可能性がある。

## 3. Wi-Fi と BLE の電波状況を利用したビーコン管理手法の提案

本研究では、提案手法として部屋の Wi-Fi モデルと BLE モデルを用いて、ビーコンの電池切れや故障、ビーコンの移動などの不具合を検出する。本手法の概要を図 1 に示す。シーン 1 では観測したデータを部屋  $\alpha$  の部屋モデルと比較した時に Wi-Fi では部屋  $\alpha$  として推定できているが、BLE ではビーコン A が受信できていないので推定できていない。よって、ビーコン A は電池切れや故障などの不具合が発生していると考えられる。シーン 2 では部屋  $\alpha$  のモデルと観測したデータを比較すると、観測したデータにビーコン B の存在が確認できる。部屋  $\alpha$  の部屋モデルにはビーコン B は存在しないのでどこからか移動してきた可能性が高いと考えられる。

本手法を使用するとビーコンの動作点検を自動で行えるようになり、定期的に1つ1つのビーコンの動作点検を行う必要がなくなる。また、運用中に図 1 などの不具合を検出できると考えられる。これにより点検がいらなくなり不具合が発生したビーコンの対応が可能である。

本手法では多く位置推定の研究で行われている計測した位置ごとの Fingerprint [7][8][9][10] ではなく部屋ごとの Fingerprint を生成する。位置ごとではなく部屋ごとにすると部屋のどこにいても、その部屋として認識され部屋推定を行いやすい。また、位置ごとと比べ電波情報を観測する回数も減らせるのでコストの削減につながる。さらに、

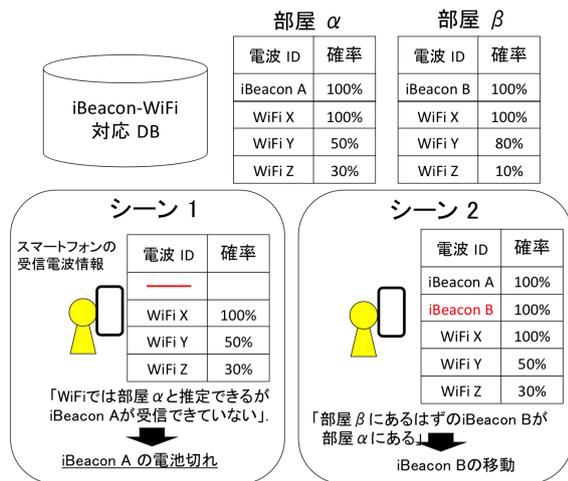


図 1 提案手法の概要図

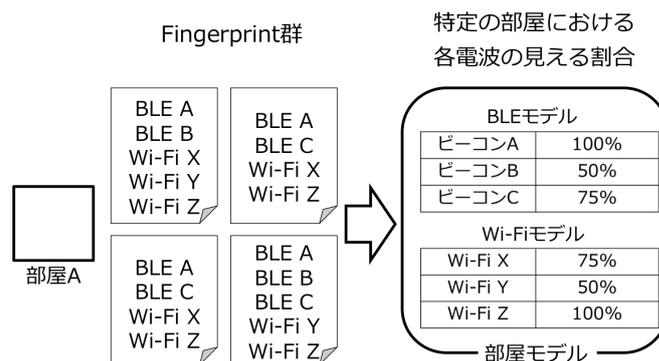


図 3 モデル作成方法

電波情報の測定をする時に明確に 50cm おき 1m おきなど決める必要がなく、部屋のあらゆるところでデータを観測すればよいというメリットがある。

Wi-Fi と BLE を組み合わせる理由は、ビーコンに不具合が起きた時に Wi-Fi を使用してビーコンの不具合を検出するためである。また部屋推定の役割も兼ねている。小教室や研究室などの小さな部屋にビーコンを 1 個設置して部屋推定を行う場合、ビーコンに不具合が発生したり持ち出されたりすると部屋推定ができなくなる。また、故障の場合は交換すれば直るが持ち出された場合、ビーコン端末を探す必要がある。

本手法のデータ収集及びモデル化を図 2、図 3 に示す。本手法では部屋に置かれているビーコンの位置及び個数は全て把握している。部屋推定を行うために Wi-Fi と BLE の電波情報を収集する。収集した Wi-Fi と BLE ごとのデータを統合し図 3 のように部屋ごとの Wi-Fi モデルと BLE モデルを作成する。

運用時は様々な人からデータを観測する。基本的に図 2 のように部屋に入室した際に BLE のデータを観測し、一定期間ごとに Wi-Fi のデータも観測する。観測した BLE リストをあらゆる部屋の BLE モデルと比較し部屋推定を行う。部屋推定が行われた後は部屋情報が送られる。一定期間ごとに観測した Wi-Fi リストとあらゆる部屋の Wi-Fi モデルを比較し部屋推定を行う。観測した Wi-Fi リストとその部屋の Wi-Fi モデルを比較する。

基本的に BLE のデータを用いて部屋推定を行うが、一定期間ごとに Wi-Fi のデータを用いて BLE と同時に部屋推定を行うとビーコンの移動や故障、電池切れなど検出が可能になると考えている。また部屋推定が正常に行われた場合、観測した Wi-Fi と BLE のデータを用いて各モデルを更新する。

### 3.1 データ収集及び前提

提案手法では、Wi-Fi と BLE についての Fingerprint を事前に収集する。前提として、データの収集にはスマートフォンを使用し、事前収集の際の観測データは正解部屋名が分かっている状態で収集する。データ収集では各部屋において部屋内を歩行してまわり、10 秒間隔で BLE と Wi-Fi の電波観測情報を記録する。一般的な Wi-Fi Fingerprint の収集方法では数秒間静止して得られた電波をその位置の Fingerprint とみなす。一方提案手法では部屋ごとの電波環境をモデル化するため、部屋全体の電波情報が必要である。BLE や Wi-Fi の電波は人や物による影響を受け、距離が離れるごとに減衰する。そのため、特に大きな部屋では部屋内の一点を観測するだけでは不十分であるため部屋内を歩行して、部屋内の様々な場所における Fingerprint を収集する。

データ収集の際には、既にビーコンは各部屋に設置済みであるという前提をおく。また、近年 BLE デバイスが多く存在しているため、それらとの混同を避けるため特定の

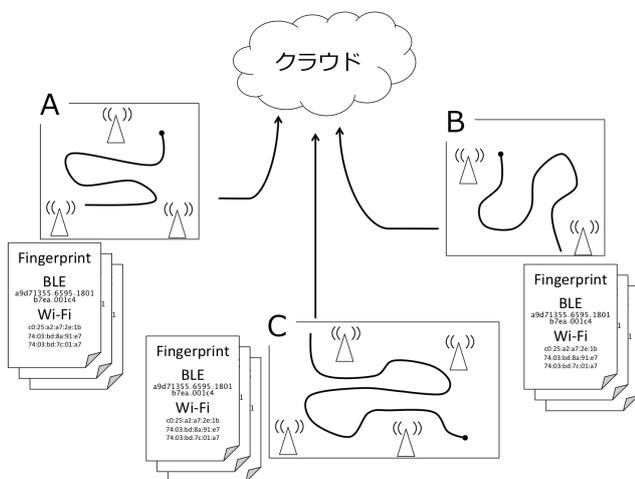


図 2 Fingerprint 収集

UUID (ビーコンに設定できる ID) をもつビーコンのみをデータ収集の対象とする。使用したビーコンデバイスの送信間隔は 300ms であり送信強度は-4dBm に設定した。

データ収集は参加型センシングで行い、スマートフォンを持ったユーザーが入室した際に部屋推定と同時に観測を想定している。基本的には BLE のデータを収集するが、一定期間ごとに Wi-Fi のデータも収集する。収集した部屋の Wi-Fi と BLE ごとのデータを統合し部屋ごとの W-Fi モデルと BLE モデルを作成し部屋モデルとする。

### 3.2 観測データのモデル化

部屋推定を行うために基準となる最初のモデルを作成する。図 3 のように観測したデータを元に、部屋ごとに Wi-Fi と BLE モデルを作成する。提案手法では、その部屋において観測される電波について、その電波が観測される確率を求め、Wi-Fi モデル、BLE モデルとする。ただし、Wi-Fi については電波到達距離が BLE よりも長いいため、一定の電波強度以上で観測されたものに限定する。このようなシンプルなモデルとしたのは計算コストの軽量化と実装の容易さが主な理由である。

また、Wi-Fi モデル、BLE モデルともに、観測確率が 50% に満たない電波はモデルに含めないものとする。各電波の観測確率に基づいて部屋推定が行われるが、その際極端に低い電波情報が含まれていると、頻繁に観測されないような電波情報を部屋推定に用いるため、これにより部屋推定の確率が低くなってしまおうと考えられる。

### 3.3 部屋推定

運用時における部屋推定について説明する。あるタイミングで観測されたデータと、あらかじめ構築しておいた各部屋の Wi-Fi と BLE のリストと BLE モデルや Wi-Fi モデルを比較し、部屋推定を行う。ここでは BLE モデルによる部屋推定を説明するが、BLE モデルを用いた部屋推定と Wi-Fi モデルを用いた部屋推定は同様の手法で行う。

観測データ  $O$  に含まれる BLE 電波の集合を  $O_b$  とする。このとき、ある部屋  $r$  に存在する確率  $p(r)$  は以下のように計算する。ここで、部屋  $r$  において電波  $a$  の観測される確率を  $p(a|r)$ 、部屋  $r$  の BLE モデルに含まれる電波の集合を  $M_b^r$  とする。まず、 $O_b$  と  $M_b^r$  に共通する電波の集合を  $O_b \cap M_b^r$  として求める。また、 $M_b^r$  に含まれており  $O_b$  には含まれていない電波の集合を  $M_b^r - (O_b \cap M_b^r)$  として求める

次に、その集合要素の電波が部屋  $r$  で観測できる確率を以下の式のように求める。

$$p(r) = \prod p(a|r) \times \prod (1 - p(b|r))$$

$$\text{ただし } a \in O_b \cap M_b^r, b \in M_b^r - (O_b \cap M_b^r)$$

上記のように観測データをあらゆる部屋モデルと比較すると、特定の部屋であろう確率が求められる。最も高い確

率が得られた部屋を、現在滞在している部屋とする。

### 3.4 不具合推定アルゴリズム

BLE 部屋推定と Wi-Fi 部屋推定の結果に基づき観測 BLE 電波  $O_b$  と BLE モデルの比較を行い、BLE ビーコンの不具合を推定する。BLE ビーコンの不具合は、電池切れや故障により電波が発信されなくなる、部屋から持ち出されるといった状況である。これらの不具合に対して、観測できないはずなのに観測されるパターン、観測されるはずなのに観測されないパターンの 2 種類の矛盾を発見して不具合推定を行う。

前提として  $R_b$  は BLE モデルにより推定された部屋、 $R_w$  は Wi-Fi モデルにより推定された部屋、 $O_b$  はある観測において受信された BLE ビーコンの集合、 $M_b^R$  は部屋  $R$  における BLE モデルに含まれる BLE ビーコンの集合とする。

まず、観測できないはずなのに観測されるビーコン集合  $E^{mh}$  (mh は move here の意味である) を求めるアルゴリズムを以下に示す。このパターンで発見できるのは、どこかの部屋から観測した部屋にビーコンが移動されたという不具合である。

BLE モデルに基づく部屋推定  $R_b$  が正しいと仮定した場合において、観測できないはずなのに観測されるビーコン集合は以下のように求められる。

$$E_b^{mh} = O_b - (M_b^{R_b} \cap O_b)$$

一方、Wi-Fi モデルに基づく部屋推定  $R_w$  が正しいと仮定した場合において、観測できないはずなのに観測されるビーコン集合は以下のように求められる。

$$E_w^{mh} = O_b - (M_b^{R_w} \cap O_b)$$

ここで、 $R_b$  と  $R_w$  が異なっている場合は、 $E_b^{mh}$  と  $E_w^{mh}$  の要素も異なる。その場合はそれらの和集合を不具合の候補とみなす。

$$E^{mh} = E_b^{mh} \cup E_w^{mh}$$

次に、観測されるはずなのに観測されないビーコン集合  $E^{mt}$  (mt は move to somewhere の意味である) を検出するアルゴリズムを示す。このパターンで発見できるのは、故障、電池切れ、観測した部屋からどこか別の場所に移動した、といった不具合である。

BLE モデルに基づく部屋推定  $R_b$  が正しいと仮定した場合において、観測されるはずなのに観測されないビーコン集合は以下のように求められる。

$$E_b^{mt} = M_b - (M_b^{R_b} \cap O_b)$$

一方、Wi-Fi モデルに基づく部屋推定  $R_w$  が正しいと仮定した場合において、観測されるはずなのに観測されないビーコン集合は以下のように求められる。

$$E_w^{mt} = M_b - (M_b^{R_w} \cap O_b)$$

ここで、 $R_b$  と  $R_w$  が異なっている場合は、 $E_b^{mt}$  と  $E_w^{mt}$  の要素も異なる。その場合はそれらの和集合を不具合の候補とみなす。

$$E^{mt} = E_b^{mt} \cup E_w^{mt}$$

### 3.5 他手法との比較

一番近い研究として2章で述べた朝日らの手法と本手法を比較する。比較した表を表1に示す。朝日らの手法ではスタンプラリーのチェックポイントとしてビーコンが配置されているため、チェックポイントごとにデータを送信する必要がある。BLEのデータのみを送信すれば良いので、それほど消費電力は多くならないと考えられる。しかし、本手法では部屋の入室時にWi-FiとBLEのデータを送信する必要があり、入退室は繰り返し行われるので消費電力は多くなると考えられる。

不具合検出に関して、朝日らの手法ではビーコンの近くを人が通らなければデータの送信がされずデータの観測もできない。また、データの観測ができないと不具合検出もできない。しかし、本手法では入室時にデータ観測を行うので、あまり使われない部屋を除きビーコンに電池切れなどの不具合が発生した場合には早急に対応が可能だと考えている。

不具合の種類に関して、朝日らの手法ではビーコンの電池切れなどの故障しか検出できない。また、持ち出された場合ビーコンがどこに行ってしまったのかわからなくなってしまう。本手法では部屋モデルを作成し観測したデータを比較する。これによりビーコンの故障に加え、ビーコンの入れ替えなどの移動も検出が可能である。

表1 手法の比較

	朝日らの手法 [4]	本手法
消費電力	○	△
不具合検出の即時性	△	○
不具合の種類	△	○

## 4. 部屋推定及びビーコン不具合検出実験

3章で行った部屋推定手法の検討によりどれくらいの精度で部屋推定が行えるのか検証した。また、ビーコンの不具合は検出できるのか実験を行った。実験で求めた部屋推定の精度が低い場合、ビーコンの不具合検出に影響が出る可能性があると考えられる。

1つ目の実験として、Wi-Fiモデルを作成した後、各部屋のWi-FiとBLEのデータを観測し部屋推定の精度を求める。ビーコンの電波はWi-Fiに比べ弱いので部屋の中でも観測できる場合と観測できない場合が考えられる。そのため、部屋の様々な場所でデータを観測する。部屋が離れていれば高い確率で部屋推定は可能であると考えられるが、隣同士の部屋など同じWi-Fiやビーコンの電波が観測できるところであると難しいと考えられる。また電波強度が低いものを全て使用すると部屋推定の確率が低くなると

考えられ、ビーコンの不具合検出に影響が出る。よって、電波強度の境界値も求める。

2つ目の実験としてビーコンの移動、故障などを想定した不具合の検出を行う。起きる不具合の予想として、部屋内にビーコンが観測できない時、部屋内のビーコンが故障した時、本来観測できるはずのないビーコンが検出された時、部屋に設置されているビーコンが他の部屋と入れ替えられていた時などが考えられる。結果として各部屋のモデルとの比較によりビーコンの移動、動作停止の不具合は検出できると考えている。

### 4.1 実験設定

実験設定として、データ収集は3章同様スマートフォンを用いて、各部屋で行う。実験で使用した部屋を図4に示す。Wi-Fiアクセスポイントは各部屋1つ設置されている。Wi-Fi及びBLEのデータの計測は10秒に1回行い計10回行う。データ収集は部屋のあらゆるところで行う。

部屋ごとのビーコン配置とMajor, Minorを図5に示す。部屋のどこにいても最低1個はビーコンを観測できる配置となっている。UUIDは全て統一してある。部屋Aにはビーコンを部屋の隅に1個ずつ計3個設置されており他の部屋からは離れている。部屋Bにはビーコンは対面となる壁に1個ずつ計2個設置され建物が違うので他の部屋からは一番遠い。部屋Cにはビーコンは部屋Bと同じように2個設置され部屋Dと隣同士になっている。部屋Dには中央にビーコンが1個設置されている。部屋Eは大講義室でありビーコンは教壇、入り口、中央柱側の3箇所に1個ずつ設置されている。

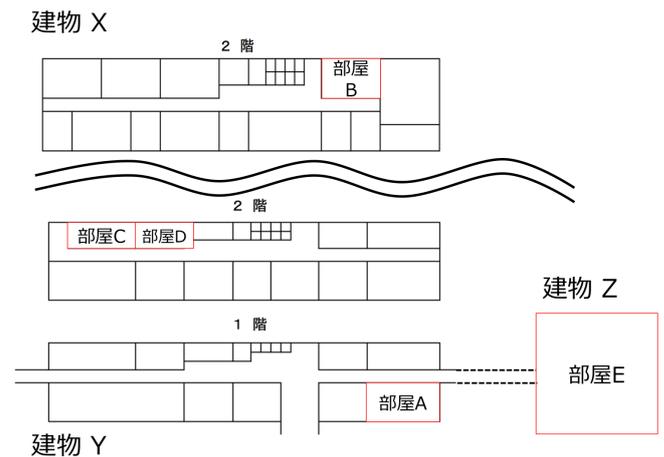


図4 フロアマップ

### 4.2 部屋推定実験

部屋推定実験ではWi-Fi及びBLEの観測データを使用し、3章で作成したモデルと観測したデータを比較し部屋推定がどれくらいの精度で推定できるのか実験を行った。

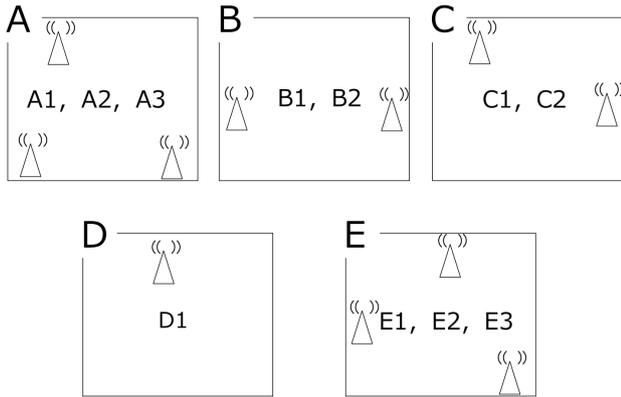


図 5 ビーコン配置図とビーコン ID

部屋推定の精度が低いとビーコンの不具合検出に影響が出ると考えられる。また、全ての基地局情報を使用すると部屋推定の確率が低くなる可能性があり、次に行う実験に影響が出る可能性があるため境界値の検討も行う。部屋推定には-50dBm, -75dBm, -90dBmの境界値を使用した。実験結果を表2に示す。

部屋 A はどの電波強度の境界値でも BLE での部屋推定は 100%であった。部屋 B は他の部屋に比べ建物が違い離れているのでどの境界値でも 100%であった。部屋 C は BLE での推定は 100%であるが、Wi-Fi での推定は-50dBm が 70%であり、-75dBm が 80%であった。部屋 D は BLE での推定はどの境界値でも 40%以下であり、Wi-Fi での推定で-90dBm が 80%であり他が 100%であった。部屋 E は BLE 及び Wi-Fi での推定ではどれも 100%であった。

実験結果の考察として、隣同士の部屋以外は高い確率で部屋推定を行えた。しかし、隣同士の部屋では BLE や Wi-Fi の電波をどちらの部屋からでも観測できてしまい、基地局が観測できるか観測できないかだけで推定しようとすると難しいと考えられる。また、実験結果より-75dBm で部屋推定を行うと精度が高い。よって不具合検出に適していると考えられる境界値は-75dBm である。

表 2 部屋推定結果

部屋推定	-50dBm		-75dBm		-90dBm	
	BLE	Wi-Fi	BLE	Wi-Fi	BLE	Wi-Fi
部屋 A	100%	100%	100%	100%	100%	100%
部屋 B	100%	100%	100%	100%	100%	100%
部屋 C	100%	70%	100%	80%	100%	100%
部屋 D	30%	100%	40%	100%	30%	80%
部屋 E	100%	100%	100%	100%	100%	100%
全体の確率	86%	94%	88%	96%	86%	96%

### 4.3 ビーコン不具合検出実験

不具合検出実験では、ビーコンの移動及び電池切れ、故障などの不具合を想定したビーコンの不具合検出を行なった。検証した不具合状況を図6に示す。E1では部屋Aのビーコン3個中1個が電池切れまたは故障で使用できなくなってしまった状況を想定している。E2では部屋Bと部屋Cのビーコンを間違えて配置した。または、移動させられたという状況を想定している。E3では部屋Eのビーコンが1つ部屋Dに移動させられた状況を想定している。実験結果として表3に示す。

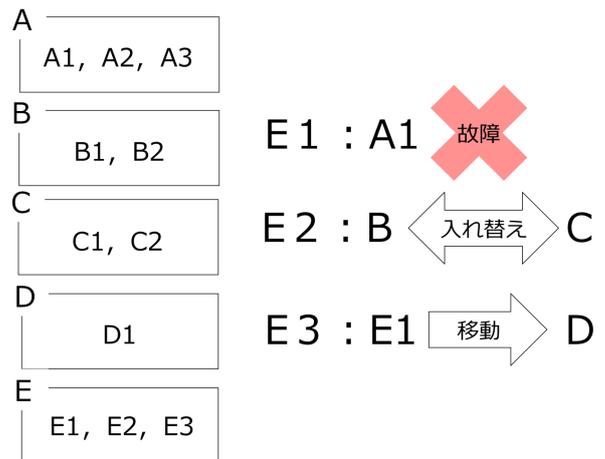


図 6 想定エラー状況

表 3 不具合実験結果

	ビーコンが観測できないはずなのに観測できる推定結果	ビーコンが観測できるはずなのに観測できない推定結果
観測回数	50	50
不具合検出の延べ個数	106	51
不具合検出の正解数	43	48
不具合検出の不正解数	63	3
正解率	40%	94%

ビーコンが観測できるはずなのに観測できない推定結果は部屋 A と E なので観測回数に比べ不具合検出の個数があまり変わらない。また、不具合検出の正解数も多く、正解率は 94%となっている。観測できないはずなのに観測できる推定結果は部屋 B, C, D であり観測回数に比べ不具合検出の個数が倍近くになっている。不具合検出の正解数は約半分であり、正解率は 40%となっている。

不具合想定実験の考察として、部屋 A ではビーコンは故障、部屋 E は移動しており部屋からビーコンがなくなっているだけである。そのため観測回数と不具合検出の個数がほぼ同じであり正解率も高い。これは部屋が離れているため他のビーコンの影響を受けないので、複合的なエラーが

起きていないと考えられる。部屋 B は建物が違い部屋が離れている。そのため、不具合検出の個数と正解数が同じであった。しかし、部屋 C と部屋 D は隣同士のため隣の部屋のビーコンが見えてしまい、不具合検出の不正解数が多くなってしまっている。部屋 D に関しては、隣の部屋に配置されている部屋 B のビーコンの影響を受け Wi-Fi では部屋 D と推定しているが、BLE では部屋 B と推定されてしまっている。このように部屋が離れており他のビーコンの影響を受けなければ、不具合検出は高い確率でできる。しかし、隣同士の部屋やビーコンの影響を受けるような近い所の場合、不具合検出は半分程の確率になる結果が確認できた。

## 5. おわりに

本稿では部屋ごとの Wi-Fi と BLE Fingerprint の比較に基づく BLE ビーコンの移動および故障検出手法を提案した。観測した Wi-Fi と BLE のデータをそれぞれモデル化し、基本的に BLE モデルと観測した BLE リストを比較し部屋を推定する。一定期間ごとに Wi-Fi モデルと Wi-Fi リストでも比較しビーコンに不具合が起きていないか確認する。

部屋推定実験を行い、部屋推定が成功する確率を求めた。また、ビーコンの不具合検出に影響が出ない電波強度の境界値を求めた。結果として、境界値は-50dBm, -75dBm, -90dBm の3種で実験結果が最も良かった-75dBmとした。

ビーコンの不具合検出実験を行い、不具合が起きているビーコンの検出はできた。しかし、隣同士の部屋や部屋と部屋の間隔が狭いところは近くの BLE の電波を受けやすいため、ビーコンが混同し不具合の推定が困難であった。離れている部屋の場合、94%の精度で検出できたが隣同士の部屋は40%の精度であった。

今回の実験では部屋の中でしかデータを観測していない。そのため、廊下でも部屋推定がされてしまう可能性がある。部屋の中にいる場合、数十秒トラッキングしていても多少の推定違いがあっても同じ部屋に推定される回数が多ければ部屋にいると推定できる。また、廊下の場合、部屋推定が次々と変わっていくと考えられるので廊下を歩いていると推定できると考えられる。

今後の課題として本手法では、基地局が観測できる観測できないで確率を計算し部屋推定を行ったため、部屋推定の確率が低くなった。そのため、別の方法が必要だと考えられる。そこで、電波強度の正規分布を行い電波強度の強さの範囲を用いて部屋推定を行う。正規分布を行うとその部屋で見る電波強度の範囲がわかり隣同士の部屋でも正確に部屋が推定できると考えている。正確に部屋推定できればビーコンの不具合検出の精度も高くなると期待できる。

データ観測の際に観測したデータを用いて部屋モデルを

自動更新できるようにする。最初に作成したモデルのままであると、ビーコンが変わった時や人や物が多い時など部屋推定ができなくなる場合が考えられる。そのため、観測したデータを自動でモデル更新に使用すると色々な状況のデータが観測でき、状況に応じて変化させられると考えている。

## 参考文献

- [1] 工藤大希, 堀川三好, 古館達也, 岡本東. BLE ビーコンを用いたエリア推定による屋内位置測位手法の提案. 情報処理学会第 78 回全国大会 6U-06, 2016.
- [2] 中澤祐貴, 宮木洋, 新津善弘. BLE Beacon を用いた屋内位置情報共有法. 平成 28 年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, 2017.
- [3] 古館達也, 堀川三好, 工藤大希, 岡本東. Bluetooth Low Energy ビーコンを用いた屋内測位手法に関する研究. 第 14 回情報科学技術フォーラム M-009, 2015.
- [4] 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.
- [5] 新田優介, 大野成義. 無線 LAN のアクセスポイントを利用した位置推定方法の比較検討. 職業能力開発総合大学校紀要第 41 号 A, 2012.
- [6] 藪耀介, 新井イスマイル. 校舎内における BLE 電波強度による屋内測位の性能評価. 第 77 回全国大会講演論文集 301 - 302, 2015.
- [7] 谷内大祐, 前川卓也. 位置フィンガープリントの自動更新を用いた電波環境変化に頑健な屋内位置推定手法. 情報処理学会論文誌 55(1), 280-288, 2014.
- [8] 横田山都, 廣安知之, 三木光範, 横内久猛, 吉見真聡. WLAN の RSS 分布を用いた室内位置推定手法の提案と利用. The 24th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 3C2-2, 2010.
- [9] 加治充, 原隆浩, 西尾章治郎. 無線 LAN による位置推定のためのオンライン. 生成可能な電波環境地図とその特性. 情報処理学会論文誌 50(1), 51-63, 2009.
- [10] 久保田真一郎, 副島慶人, 川村諒. 学内無線 LAN アクセスポイントを利用した位置推定における歩行者の影響について. 学術情報処理研究 (15), 82-88, 2011.