

# YAMATO:ウェアラブル屋内フロアマップ生成システム

柏本 幸俊<sup>1</sup> 安本 慶一<sup>1</sup>

**概要:** 近年屋内ナビゲーションが注目されている。屋内ナビゲーションを行うには屋内フロアマップの入手が重要となる。ロボットやウェアラブル LiDAR 等を用いた屋内フロアマップの生成手法が提案されているが、大きさや重さの点で日常的にユーザが使用することは難しい。本研究では、スマートフォンに超音波センサガジェットを装着し、スマートフォンユーザが通常通りの行動を行うだけで、屋内フロアマップが自動的に生成されるシステムの実現を目指す。提案システムでは、超音波センサガジェットとスマートフォン内蔵の加速度センサ、方位センサを用いてユーザが居る部屋の形状、サイズおよび方位を推定する。超音波による壁との距離の計測だけでは、部屋の正確な形状の推定は難しいため、形状が長方形という制約を置き、計測した距離データを長方形にフィッティングすることで部屋の形状・サイズを推定する。次に、部屋の形状推定時に屋内位置測位技術を用いて各部屋の位置を測定しておき、複数の部屋を順に配置することで、大まかなフロアマップを生成する。大まかなフロアマップ上で部屋間の位置関係から配置を微調整することで、正確なフロアマップを生成する。予備実験として超音波データロガーを実装し、収集したデータに本手法を適用し部屋形状及びサイズの推定を行った。結果、東西方向は6.1%、南北方向は18.9%の誤差で部屋のサイズ及び形状が推定できた。

## 1. はじめに

近年、屋内ナビゲーションが注目されている [1]。特に駅地下やオフィスビルや大学建物等は複雑な構造の割に目印が少なく、初めて訪れたユーザは迷いやすい為、屋内ナビゲーションがあれば便利である。屋内ナビゲーションを行うには屋内フロアマップの入手が必要となる。近年、Google によって屋内インドアマップ [2] が提供されているが、都会の乗降客が多い駅などの主要建物のみを提供となっている。従って、ユーザが屋内フロアマップをオープンストリートマップ [3] の様に手軽に作ることでできるシステムが必要とされている。

屋内フロアマップが提供されていない場合、ユーザや施設管理者が自らメジャー等の測距計にて各スペースの測量を行いフロアマップを作成し、システムへ入力する必要があるが、その作業は大きな負担となる。屋内フロアマップを生成する場合、《要件 1》フロアマップの生成に関してユーザへの負担が少ないこと、《要件 2》部屋の形状が正確に分かること、《要件 3》部屋間の相対的な位置関係が分かること、の 3 要件を満たす必要がある。

これまでスマートフォンが内蔵する GPS, WiFi を用いた屋外マップの自動生成手法は多数研究されている [4] [5]

[6] が、屋内では GPS 信号や WiFi 電波が建造物の影響を受け複雑にフェージングするため推定精度が下がり、(要件 2・3) を満たさない。そのため、屋内フロアマップ生成への転用は難しい。また、屋内フロアマップ生成はロボットの分野では昔から盛んに行われており、精度の高いものも存在する [7] [8]。これらの研究では、LiDAR(=Light Detection and Ranging, Laser Imaging Detection and Ranging)[9] またはステレオカメラを利用することで、《要件 2》を実現している。また、《要件 3》を実現するのに、ロボットを一定速度で動かし、オドメトリ \*1 によって自己位置推定を行っている。しかし、これらの研究は計測のための特別なロボットが必要であるため、《要件 1》を満たさない。また、《要件 1》を満たすためには、ウェアラブルセンサの使用が望ましいが、ウェアラブルセンサによって屋内フロアマップを生成する場合、ユーザの移動速度が一定で無く、オドメトリを利用することができないという問題がある。Fallon[11] らはウェアラブルセンサを用いたフロアマップの生成手法を提案している。ここでは、LiDAR と Kinect [10] を身体に装着し、屋内を歩きまわることでフロアマップを生成する。《要件 2》を実現するのに LiDAR によって部屋の形状を推定し、《要件 3》を実現するのに Kinect のカメラデータを画像処理することによって自己位置を推定し、

<sup>1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学  
Nara Institute of Science and Technology

\*1 ロボットの車輪に付帯したエンコーダにより自己位置推定を行う。

フロアマップを生成する。しかし、災害時のレスキュー支援などを目的としているため、ウェアラブルセンサの重量が大きく、また LiDAR, Kinect の消費電力が大きいいため、大型バッテリーを常時持ち歩かなくてはならないため、《要件 1》を満たさない。

本研究では、超音波ガジェット付きスマートフォンを装着したユーザが通常通りの行動を行うだけで、屋内フロアマップを自動的に生成することを目指したシステム YAMATO (Yielding A floor MAp system by a smarT phOne) を提案する。YAMATO では、超音波センサ、加速度センサ、地磁気センサ等の安価で小型なウェアラブルセンサを用いて屋内フロアマップを生成する。まず、超音波センサと地磁気センサによって、各部屋の形状(大きさ)と向きを推定し、次に推定した各部屋を位置関係に基づいて隣接するように配置することで、フロアマップを完成させる。YAMATO によって、ユーザは“測ってガイガー<sup>\*2</sup>”の様に、安価な超音波センサガジェットを購入し、通常通りの行動を行うだけで、様々な施設の屋内フロアマップ作成に貢献できる。

LiDAR は 1 度に 360° 分の壁のデータを収集できるが、超音波を用いた場合は 1 度に 1 点分のデータしか収集できないため、データ量が少なく、また十分な精度のデータを収集しにくいという課題が存在する。この課題解決のため、次の方針でフロアマップの生成を行う。まず、180° 反対方向に実装された超音波センサによって壁と壁の距離を測定し、部屋の形状を推定する。ユーザが動いている場合、ドップラ効果や回折の為に正確に計測できないため、加速度センサよりユーザが静止している時のみ計測を行う。次に、計測したデータより部屋の壁の向きを推定し、超音波センサが壁と垂直に向いた時のみデータを収集し、データの精度を向上する。更に、部屋の形状は長方形であるという事前知識を用いることで部屋サイズの推定精度を向上する。

部屋間の相対的な位置関係を把握するために、まずスマートフォン内蔵の WiFi 等による屋内位置測位技術によって部屋のフロア上での大まかな位置を推定する。次に、前述の 2 つのセンサに対して 90° 方向に実装された超音波センサによって部屋の大まかな位置を推定した時の部屋内部でのユーザの位置を推定する。この 2 つを組み合わせることで、大まかな部屋間の位置関係を推定する。また、部屋間の位置関係から共有する壁の長さの総和が最大となるよう部屋を配置することで、精度の高いフロアマップを生成する。

提案する YAMATO の有用性の確認のため、ワンボードマイコン mbed に加速度、地磁気、超音波センサを接続したデータロガーを実装し、屋内環境で収集したデータロ

グに本手法を適用し部屋の形状及びサイズの推定を行った。結果、東西方向の部屋の長さは 6.1% 誤差、南北方向は 18.9% の誤差で部屋のサイズ及び形状が推定できた。

## 2. 関連研究

### 2.1 ロボットによるフロアマップ生成

Biber らは、LiDAR を取り付けられたロボットによる屋内フロアマップ生成方法を提案している [8]。ここでは、LiDAR によってロボットと壁までの距離を計測し、ロボットのオドメトリと組み合わせることで屋内マップを生成している。計測用ロボットは一定速度で動くため、オドメトリによって比較的高い自己位置推定精度が得られるが、ユーザがセンサを装着することを想定した場合、オドメトリを利用した位置推定が行えず、フロアマップの生成に十分な精度が得られない。また、ロボットの移動機構の制約上入ることのできない部屋の計測ができない。計測用ロボットは価格、キャリブレーションの必要性といった面から、コストが高いため、手軽に使用するのは困難である。

### 2.2 ウェアラブル LiDAR Kinect によるフロアマップ生成

Fallon らはウェアラブルセンサを用いたフロアマップの生成手法を提案している [11]。ここでは、LiDAR と Kinect を身体に装着したユーザが、屋内を歩きまわることによってフロアマップを生成する。提案手法では、LiDAR によって壁の形状を計測し、Kinect を用いた画像処理によって自己位置推定を行い、屋内フロアマップを生成している。画像データより自己位置推定を行うため、ウェアラブルセンサによる計測であっても、比較的高い精度の屋内フロアマップが生成できるが、常時 Kinect, LiDAR を動作させなくてはならないため、消費電力が大きいといった問題が存在する。また、災害時のレスキュー支援などを目的として研究されているため、ウェアラブルセンサのサイズや重量が大きく、ユーザが日常的に装着し、使用するのは困難である。

### 2.3 スマートフォン内蔵センサによるフロアマップ生成

Alzantot らは、スマートフォン内蔵センサを用いたフロアマップ生成手法を提案している [5]。ここでは、スマートフォンに内蔵された加速度、地磁気、ジャイロセンサ、及び WiFi 電波強度を用いて、ユーザの軌跡を推定し、フロアマップを生成する。しかし、部屋の端に物体が存在する場合など、ユーザが壁に沿って歩くことができなかった場合、正確なフロアマップを生成できない。

### 2.4 本研究の位置づけ

既存研究では、高い精度での屋内フロアマップ生成が可能なものも存在するが、ウェアラブルセンサによるフロア

<sup>\*2</sup> ユーザがガイガカウンタを購入し測定することで、各地の測定線量を自主的に投稿できる Web サービス

マップ生成に転用可能な研究は少ない。また、ウェアラブルセンサによる精度の高いユーザの位置推定技術であっても、消費電力や重量、コストの問題でユーザが日常的に利用するのは困難である。本研究では、ユーザが日常的に装着可能な安価なデバイスでユーザの位置及び壁の形状を推定し、かつ正確なフロアマップを自動的に生成することを旨とする。

### 3. YAMATO のシステム構成

本研究では、超音波センサガジェットを装着したスマートフォンを一般ユーザが装着し地下街やビル内等の対象空間で通常通り行動することにより、自動的にフロアマップを生成可能なシステムの実現を目指す。また、ユーザの行動により生成されたマップは他のユーザと共有する。これにより、協調してフロアマップを生成することも可能である。また、初めて訪れた場所であっても、他のユーザが作成したフロアマップが存在すれば、それを使用したサービスを受けることができる。更に、ユーザ自身がフロアマップの精度向上に貢献することも可能となる。

#### 3.1 要件と基本方針

本システムの目的は、ターゲットアプリケーションであるユーザの行動を支援するコンシェルジュサービスに対し、ウェアラブルセンサによりフロアマップを提供することである。また、関連研究でも述べたように本システムの位置づけは、ユーザに可能な限り負担をかけずにフロアマップを生成することである。そのため、本システムの要件を以下のように定めた。

- 《要件 1》 ユーザがウェアラブルセンサを装着し、通常通り行動することでフロアマップが生成されること
- 《要件 2》 ローコスト・低消費電力なデバイスで構成されること
- 《要件 3》 ウェアラブルでかつユーザの装着ストレスが少ないこと

これらの要件を満たすための基本方針について述べる。まず、《要件 1》については、ユーザがスマートフォン(加速度センサ)、超音波センサガジェット等を常時身につけ、加速度センサからユーザの姿勢(例:立っているか、座っているか、立ち止まっているのか等)を推定し、計測に適した状況であると判断された場合に、超音波センサにて部屋のサイズを計測することで、実現する。

《要件 2》に関しては、関連研究で紹介した LiDAR (10W) や Kinect (6W) の様な消費電力の多いデバイスを使わずに、超音波センサ (100mW)、加速度センサ (0.3mW)、地磁気センサ (0.3mW) を組み合わせることで、電池での 1

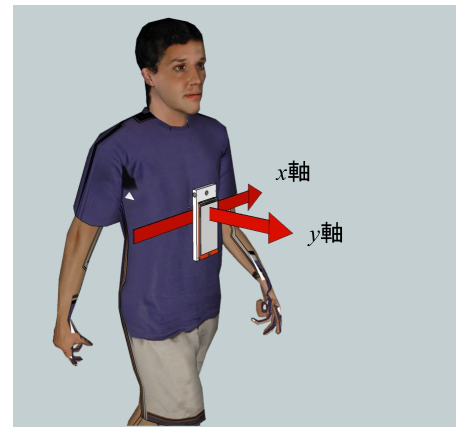


図 1 実装イメージ

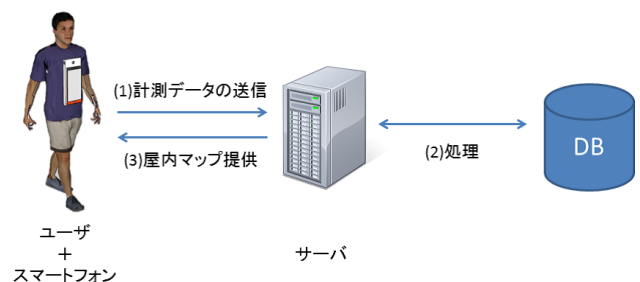


図 2 システム概要

日以上を駆動を目指す。また、LiDAR や Kinect に比べて、超音波センサ等はローコストである。

《要件 3》に関して、Kinect は外寸が 30mm × 300mm × 60mm、600g、LiDAR が 60mm × 60mm × 87mm、370g であるため、ユーザが日常的に装着して行動するには負担が大きいが、提案システムではスマートフォンにスマートフォンと同程度の厚さの超音波ガジェットを重ねて使用する形をとることで、日常生活への影響を最小限にとどめる。

#### 3.2 提案システム YAMATO の設計

以上の節で述べた目的および要件をふまえ、YAMATO を設計する。

提案システムは、一般のユーザを対象とし、図 1 の様にユーザは超音波センサガジェットを備えたスマートフォンを装着すると想定する。部屋サイズの推定と屋内での位置推定を同時に行うため、超音波センサガジェットには 3 つの超音波センサを 3 方向に設置する。2 つの超音波センサは、図 1 の  $x$  軸に沿って互いに反対を向くよう設置し、残り 1 つは  $y$  軸方向に設置する。 $x$  軸方向の 2 つは部屋サイズの推定に使用し、残り 1 つは屋内の位置の推定に使用する。具体的には、 $x$  軸に沿って設置した 2 つの超音波センサの計測距離を加算することで、部屋の壁から壁の距離を計測する。また、この計測結果と  $y$  軸方向に設置したセンサの計測距離を組み合わせることで、屋内の位置の測位に利用する。

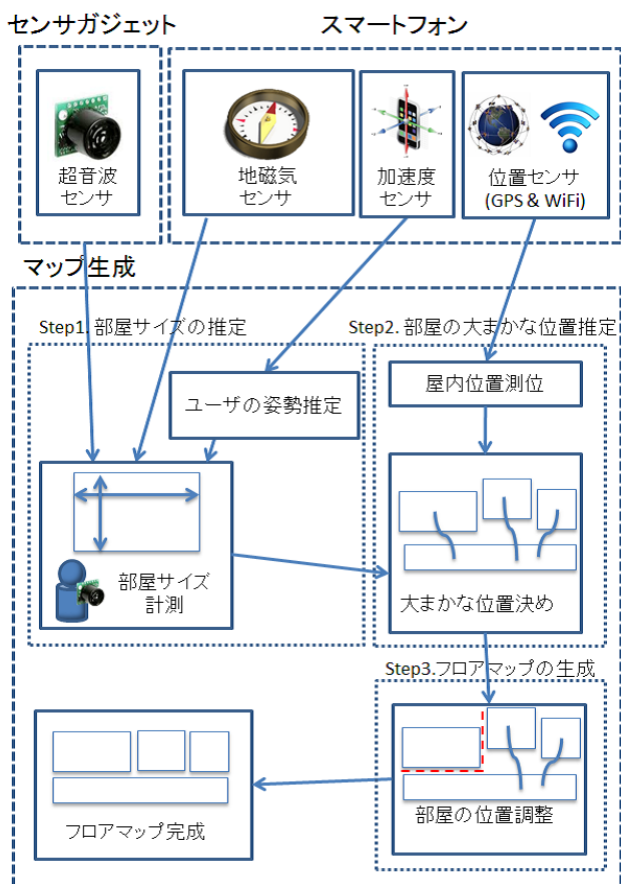


図 3 フロアマップ生成ステップ

本システムを図 2 に示すように、クラウド上に置かれるデータベース、サーバ、及びユーザが装着するスマートフォンから構成する。データベースには、各センサからの計測距離情報およびユーザのコンテキストに関するデータが蓄積される。サーバ上では収集したデータを逐次解析し、フロアマップの生成及びユーザの位置を推定しスマートフォン上のアプリに情報を提供する。

### 3.3 フロアマップ生成ステップ

ここでは、フロアマップが生成されるまでの大まかな手順について述べる。図 3 にフロアマップが生成される手順を示す。フロアマップを次の 3 ステップで生成する。

- ステップ 1: 部屋サイズの推定
- ステップ 2: フロア全体での部屋の大まかな位置の推定
- ステップ 3: フロアマップの生成

#### ステップ 1: 部屋サイズの推定

まずステップ 1 では測定対象の部屋内で超音波センサにより、壁までの最短距離を測定することで、部屋のサイズの推定を行う。

ユーザが動き回った状態で測定すると、ドップラ効果や音波の回折が起こり正確に測定できない。そこで、ユーザが立ったまま静止したタイミングで測定を開始する。超音

波センサで測定した距離を地磁気センサのデータと関連付けて保存する。複数方向での測定データを解析することで、壁までの最短距離と壁の向きを推定し、それぞれの壁に相当するデータに対し、直線近似を行うことで部屋のサイズ及び形状を推定する。

部屋サイズ推定方法の詳細は 4 章で述べる。

#### ステップ 2: 部屋の大まかな位置推定

次にステップ 2 では、ステップ 1 でサイズを推定した部屋の地図上での大まかな位置決めを行う。本ステップでは超音波と WiFi による位置測位によって、部屋の配置関係を推定する。ステップ 1 で部屋サイズを推定する際に、3 つの超音波センサから超音波を照射し、周囲の壁との距離を測定し、部屋内での位置を推定する。同時に WiFi による位置測位により部屋の経度・緯度を取得する。この 2 つの位置データをひもづけることで、地図上での部屋の大まかな位置を推定する。

#### ステップ 3: フロアマップの生成

本ステップでは前節で得られる複数の部屋の配置関係よりフロアマップを生成する。

2 つの部屋が壁を隔てて隣接するという事前知識を用いて部屋の位置を決定する。つまり、隣接関係にある部屋を共有する壁の長さが最大になるように並べて配置することで、フロアマップを生成する。

フロアマップの生成方法の詳細は 5 章で述べる。

## 4. 部屋サイズおよび形状の推定

本章では、超音波センサ及び方位センサを用いた部屋サイズの推定方法に関して述べる。提案システムでは以下の 4 ステップにより、スマートフォンおよび超音波ガジェットから取得するセンサデータより部屋のサイズおよび形状を推定する。

- ステップ 1: ユーザが静止した時の距離データの収集
- ステップ 2: 壁の方向の推定
- ステップ 3: 壁と垂直な時の距離データの収集
- ステップ 4: 部屋の形状 (大きさ) と向きの推定

#### ステップ 1: ユーザが静止した時の距離データの収集

ユーザが動き回っている状態だと、正常に測定ができないため、まず加速度センサのデータよりユーザの状態推定を行う。状態推定より、静止している時のみ超音波を発射し、距離計測を行う。地磁気センサより方位を、超音波センサより壁との距離を計測し、距離データ  $d$  と方位データ  $\theta$  を関連付けて  $data[\theta] = d$  の形で配列に格納する。

#### ステップ 2: 壁の方向の推定

格納したデータに対し、後述の 4.2 節で述べるクラスタリングを行い、壁が存在する方向を推定する。

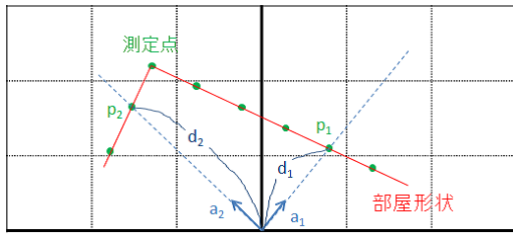


図 4 壁位置マッピングデータ

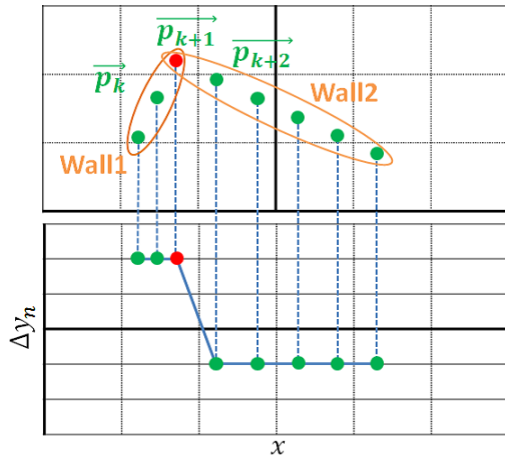


図 5 壁クラスタリング

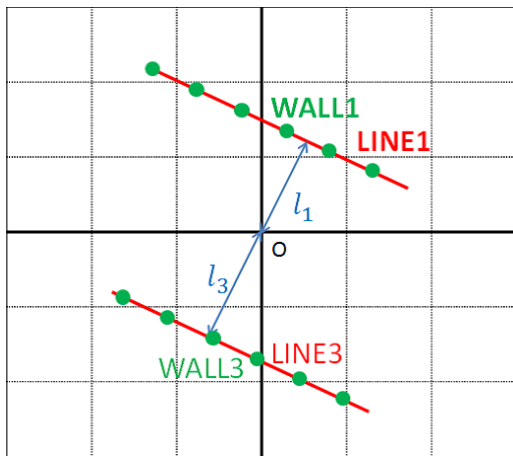


図 6 線形回帰と部屋サイズの算出

### ステップ 3: 壁と垂直な時の距離データの収集

正確な距離データを収集するため、ステップ 2 で推定した壁の方向に垂直に超音波センサが向いている時の距離データのみを収集することで、データの精度を向上する。

### ステップ 4: 部屋の形状 (大きさ) と向きの推定

壁ごとに収集した距離データに対して最小二乗法による線形回帰を適用し、部屋の形状が長方形となるように推定する。

以降では、壁の位置データの格納方法、壁ごとのクラスタリング方法、部屋サイズの推定方法に関する詳細を述べる。

## 4.1 壁の位置のマッピング

壁面上の各測定点までの距離を  $d$  とし、測定点の位置ベクトルを  $\vec{p}$ 、センサの方位を表す単位ベクトルを  $\vec{a} = [\cos\theta, \sin\theta]$  とすると、 $\vec{p} = d \cdot \vec{a}$  と表わすことができる。これより、図 4 に示すように壁に対する各測定点を 2 次元平面上にマッピングする。

## 4.2 壁ごとのクラスタリング

壁に対する測定点の集合を壁毎の集合に分割する、そのため、方角の値が隣接するデータ間での位置の差分量に注目する。まず、以下の位置ベクトル  $\vec{p}_i$  を定義する。

$$\vec{p}_i = [x_i, y_i]$$

$[x_i, y_i]$  は測定点の  $x$  座標と  $y$  座標である。次に隣接関係にある測定点の位置ベクトル間の差分量を表す差分ベクトルを定義する。

$$\vec{\Delta p}_i = [\Delta x_i, \Delta y_i]$$

ここで、 $\Delta x_i = x_i - x_{i-1}$ 、 $\Delta y_i = y_i - y_{i-1}$  とする。 $\Delta x_i \cdot \Delta x_{i+1} < 0$  あるいは  $\Delta y_i \cdot \Delta y_{i+1} < 0$  となる  $i$  を求めることにより、壁の変化点が検出できる。

例えば、図 5 のように測定点が得られたとする。図 5 の下のグラフは  $\Delta y_i$  を表す。グラフより  $i = k+1$  の時の  $\Delta y_i$  の変化より、2 つのクラスタ Wall1, Wall2 に分割できることが分かる。

## 4.3 部屋サイズの推定

各壁に対応する測定点群に対し、最小二乗法によって壁を表す直線を推定し、部屋のサイズを推定する。

例えば、図 6 の Wall1, 3 の測定点のクラスタが得られた場合、それぞれのクラスタに対して最小二乗法を適用すると壁を表す LINE1, 3 の直線が得られる。それぞれの直線に対して原点からの距離 ( $l_1, l_3$ ) を求め加算すると、南北方向の部屋のサイズが推定できる。

## 5. 隣接関係を考慮した部屋の配置

本章では、4 章で得られた各部屋のサイズ及び形状の推定結果と 3.3 節で述べた各部屋の位置情報からフロアマップを生成する。

### 5.1 方針

単純に各部屋の位置情報に基づき部屋を並べただけでは、部屋の位置情報、サイズ・形状の誤差により、人が利用可能な (部屋間の配置関係が正しい) マップが得られない可能性がある。そのため、部屋の並べ方に制約を与えることで、部屋の配置関係が正しいフロアマップを生成する。また、複数の部屋をフロアマップ上に配置する順序によって

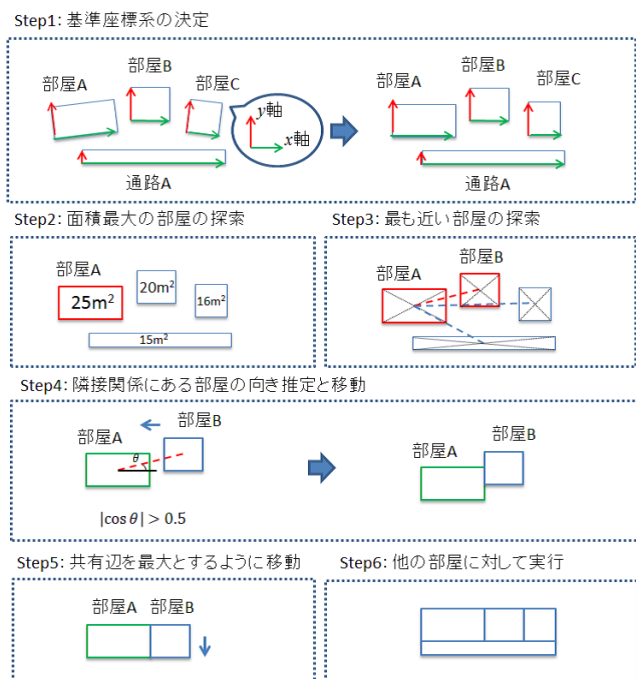


図 7 部屋配置アルゴリズム

も、最終的に生成されるフロアマップが変わることが考えられる。部屋の配置順序の決定方法は色々考えられるが、今回は計算のし易さのため、面積の大きな部屋から配置を行う。

提案手法では、部屋の配置を行う際に以下の制約を課すこととした。

- 不整合な関係 (部屋がどの通路にも接していない等) にあってはならない
- 隣り合う部屋どうしが壁を共有して隣接する

これらの制約を満たすために、部屋間が共有する壁の長さの総和が最大となる様に各部屋を配置する。以上より部屋を以下の方針で配置する。

- 面積の最も大きい部屋から配置を開始し、既に配置済みの部屋については最近傍の部屋から順番に再帰的に配置位置を調整する。
- 部屋間で共有される壁の長さの和が最大となるよう位置を調整する。

## 5.2 アルゴリズム

ステップ 1: 基準座標系の決定

ステップ 2: 面積最大の部屋  $r$  の探索

ステップ 3:  $r$  に最も近い部屋  $r'$  の検索

ステップ 4:  $r$  と  $r'$  が隣接関係にあるなら部屋間の向きを推定し合わせる

ステップ 5:  $r$  と  $r'$  の共有辺を最大とするように移動

ステップ 6: 他の部屋に対して再帰的に Step2~Step5 を実行

部屋の配置アルゴリズムを図 7 を例に説明する。

### ステップ 1: 基準座標系の決定

各部屋の向きを揃えるため、基準となる座標系を決定する。各部屋の壁について方向ベクトルを計算し、類似するベクトルの集合についての平均を取ることで求める。基準ベクトルと壁が平行となるように、各部屋を回転する。

### ステップ 2: 面積最大の部屋の探索

次に、各部屋の面積を求め、最大面積を持つ部屋を部屋配置変更の開始点 (基準点) とする。この場合、部屋 A となる。

### ステップ 3: 最も近い部屋の探索

部屋 A と他の各部屋の重心とのユークリッド距離を計算し、最も距離が近い部屋 (部屋 B) を調整対象とする。

### ステップ 4: 隣接関係にある部屋の向き推定と移動

部屋 A、部屋 B の重心間を結ぶ線分の  $x$  軸に対する偏角を  $\theta$  とし、 $\cos\theta$  を計算する。 $|\cos\theta| > 0.5$  と  $|\cos\theta| \leq 0.5$  によって処理を分岐する。部屋 A と部屋 B 間では  $|\cos\theta| > 0.5$  となるため、左右方向に隣接していると考えられる。したがって、部屋 B が部屋 A と共有辺を持つまで、部屋を左方向に移動させる。もし  $|\cos\theta| \leq 0.5$  の場合、部屋 A と部屋 B が共有辺を持つまで、部屋を上下方向に移動させる。

### ステップ 5: 共有辺を最大とするように移動

共有辺長が最大となるように部屋をステップ 4 で移動した方向とは垂直の方向に移動する。

### ステップ 6: 他の部屋に対して再帰的に Step2~Step5 を実行

全ての部屋に対して Step2~Step5 の操作を再帰的に行うことで、フロアマップを得る。

## 6. 部屋サイズ推定方法の評価実験

### 6.1 目的と手法

評価実験の目的は、4 章で述べた部屋サイズ推定方法の妥当性を評価することである。図 8 に示すデータログを実装して、1 つの部屋で部屋サイズ推定の実験を行った。データログを被験者 (1 名) の腕に取り付け、部屋を 1 周し、内蔵 FLASH にデータを蓄積する。蓄積したデータに対し、4 章のアルゴリズムを適用し、部屋サイズを推定する。推定した部屋サイズと実際の部屋サイズを比較し、精度を検証する。

### 6.2 実装と実験環境

図 9 の様に NXP mbed[12] に加速度・地磁気・超音波距離センサを接続し、mbed の内蔵 FLASH に各センサデータを csv 形式で保存する。保存した csv データを PC 上で解析することにより、検証する。超音波センサのサンプリング周期は 2.0Hz とし、加速度センサ、地磁気センサのサンプリング周期は 100Hz とする。



図 8 データロガー

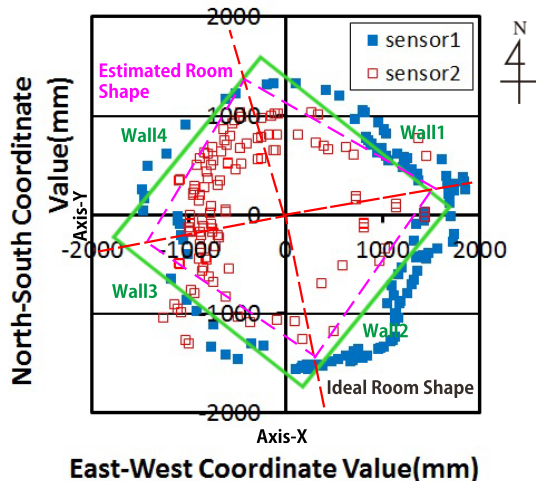


図 9 測定結果

このデータロガーを筆者の腕に装着し、3000mm × 2980mm の部屋で実験を行った。

### 6.3 実験結果と評価

図 9 に 4.1 節の処理を行った結果を示す。青点は超音波 Sensor1 の各計測データを、赤点は超音波 Sensor2 の各計測データをプロットしたものである。センサ間のバラつきがあるものの、Sensor1, Sensor2 が壁の形状を計測できていることが分かる。Sensor2 が実際の部屋の形状と大きく離れているが、温度やハードウェアのばらつきによる影響が原因として考えられる。

4.2 節以降の処理を行い、部屋の形状及びサイズを推定した。処理の結果図 9 の破線で部屋の形状を推定できた。実線は理想的な部屋形状を表す。また、東西方向 2817.6mm(誤差 6.1%)、南北方向 2464.0mm(誤差 18.9%) で推定できた。部屋の向きがずれる原因として、地磁気センサ、及び鉛直方向推定に用いる加速度センサのノイズの影響が考えられる。また、南北方向で誤差が大きい原因は、南壁に設置された書棚の影響が考えられる。したがってこれら障害物が存在した場合でも、正確に部屋サイズを推定可能なアルゴリズムの開発が今後の課題となる。

## 7. まとめ

本稿では、ウェアラブルな超音波センサガジェットを用いて、ユーザが対象空間で通常通り行動するだけで、屋内フロアマップを自動生成することを可能とするシステム YAMATO を提案した。YAMATO では、センサデバイスが壁を向いた時に壁との距離及びセンサデバイスの方位を測位し、測位データを統合することでフロアマップを生成する。

評価実験として部屋サイズの推定を行った。データロガーを実装し解析を行った結果、部屋サイズ推定の東西方向の誤差は 6.1%、南北方向の誤差は 18.1%であった。

今後は、部屋サイズ推定精度の向上と、フロアマップ生成部分の実装を行い、システム全体の評価を行う予定である。

### 参考文献

- [1] Pochi Walk, 入手先 (<http://www.itmedia.co.jp/promobile/articles/1206/12/news066.html>)
- [2] Google Indoor Maps, 入手先 (<http://maps.google.com/help/maps/indoormaps/>)
- [3] OpenStreetMap, 入手先 (<http://www.openstreetmap.org/>)
- [4] M.Shinichi, S.Fujii, H.Yamaguchi and T.Higashino, "Local Map Generation using Position and Communication History of Mobile Nodes", Pervasive Computing(PerCom), 2010
- [5] M.Alzantot, M.Youssef, "CrowdInside: automatic construction of indoor floorplans", Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems(SIGSPATIAL), Pages 99-108, 2012
- [6] H.Shin, Y.Chon, H.Cha, "Unsupervised Construction of an Indoor Floor Plan Using a Smartphone", IEEE Transactions on Human-Machine Systems, pp.889-898, 2011
- [7] R.Smith, M.Self, and P.Cheeseman, "Estimating uncertain spatial relationships in robotics", in Autonomous robot vehicles, pp.167-193. Springer, 1990
- [8] P.Biber, H.Andreasson, T.Duckett, A.Schilling, "3D modeling of indoor environments by a mobile robot with a laser scanner and panoramic camera", Intelligent Robots and Systems(IROS), 2004
- [9] LiDAR, Hokuyo-Denki, 入手先 (<http://www.hokuyo-aut.co.jp/>)
- [10] Kinect, Microsoft, 入手先 (<http://www.xbox.com/ja-JP/kinect>)
- [11] M.Fallon, J.Hordur, B.Jonathan, T.Seth, J.L.John. "Sensor fusion for flexible human-portable building-scale mapping", Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012
- [12] NXP semiconductors, mbed LPC1768 入手先 (<http://mbed.org/nxp/lpc1768/>)