

視覚障害者の自律移動支援を目的とした SLAMのための環境地図候補選択手法の検討

羽生田浩貴¹ 森信一郎¹

概要: 視覚障害者の移動支援を行う枠組みとして主に同行援護と盲導犬がある。しかし、同行援護については、ヘルパーの不足と利用時間の上限が定められているという問題があり、盲導犬については、視覚障害者の数に対して大きく頭数が不足しているという問題がある。これらの問題から、視覚障害者の移動支援に関しては、効率的に行う別の仕組みが必要であると考えられる。その移動支援の仕組みとして、私たちは遠隔でオペレータが支援を行う自律移動支援サービスを検討している。このサービスの実現には、オペレータが安心かつ簡単に支援を行うための仕組みが不可欠であると考えられる。そのオペレータに対する仕組みを実現するための重要な要素の一つに、オペレータが視覚障害者の位置と向きを把握する測位技術がある。その測位技術の一つに SLAM というものがあり、これは大規模な環境において作成される環境地図が大きくなり、実行時のシステム負荷が大きという問題がある。本研究では、構築した Visual SLAM を用いたシステムをもとに、大規模な環境において SLAM を用いた測位を行うための手法の検討を行った。

キーワード: 環境地図, 屋内測位, SLAM, Visual SLAM, 視覚障害者

A Study of a Method for Selecting Candidate Environmental Maps for SLAM to Support Autonomous Mobility of the Visually Impaired

HIROKI HANYUDA^{†1} SHINICHIRO MORI^{†1}

Abstract: There are two main frameworks for providing mobility support for the visually impaired: companion assistance and guide dogs. However, there is a shortage of helpers and a time limit for using guide dogs for the visually impaired, and there are not enough guide dogs for the visually impaired for the number of visually impaired people. These problems suggest the need for a different system to efficiently provide mobility support for the visually impaired. We are considering an autonomous mobility support service in which a human operator provides assistance remotely. To realize this service, we believe that it is essential to have a mechanism for human operators to provide support in a safe and easy manner. One of the key elements to realize such a system for human operators is a positioning technology that enables the human operator to know the location and orientation of a visually impaired person. One of the positioning technologies is SLAM, which is problematic because it requires a large system load in a large environment due to the large size of the environment map created in a large-scale environment. In this study, based on a system using Visual SLAM, we investigated a method for SLAM-based positioning in large-scale environments.

Keywords: Environmental map, Indoor positioning, SLAM, Visual SLAM, Visually impaired

1. はじめに

1.1 背景

日本において、18 歳以上の視覚障害者は 31 万人いるとされている。視覚障害者は白杖を用いた、周囲の地形や障害物等の環境の認知を主に頼りにして歩行を行っている。視覚障害者の歩行に対する支援としては、駅構内や一部の歩道に設置される点字ブロックがある。しかし、様々な理由により点字ブロックが設置されていない大学構内のような場所がある。その様な場所では、視覚障害者は自律行動が基本的には行なえないため、同行援護や盲導犬等の別の支援の仕組みが必要である。同行援護については、ヘルパーの不足と利用時間の上限が定められているという問題がある。1 ヶ月あたりの利用時間の上限は国としては定めて

いないが自治体によって定められており、上限が 50 時間程度の自治体や 20 時間程度と少ない自治体もある。盲導犬については、介助犬を含めて約 900 頭しかおらず、視覚障害者の数に対して大きく不足しているという問題がある。これらの問題から、視覚障害者の移動支援に関しては、効率的に行う別の仕組みが必要である。

効率的に支援を行う例として、視覚障害者を牽引して支援を行う AI ロボットの開発がある[1]。同行援護のヘルパーや盲導犬は、視覚障害者の状態を随時確認して視覚障害者を主体とした歩行補助の調整を行っているため、視覚障害者は大きな安心感を得ることができている。従って、視覚障害者の状態を反映し、視覚障害者を主体とした制御を AI が行うのは現時点では困難であり、同行援護のヘルパーのような視覚障害者の不安感を取り除く仕組みが必要だと

¹ 千葉工業大学
Chiba Institute of Technology.

考えられる。

1.2 遠隔から人オペレータが誘導する支援サービス

視覚障害者の自律移動支援を効率的に行い、不安感を取り除く仕組みとして、遠隔の人オペレータが視覚障害者の歩行支援を行うサービスについて検討がある[2]。これはクラウドを介して視覚障害者に装着されている端末から伝えられるカメラ映像等の視覚障害者の周辺の環境情報から人オペレータが、遠隔から視覚障害者に対して歩行指示等を行うサービスである。人オペレータが視覚障害者の安全を確保することで、視覚障害者に安心感を与えることができると考える。また、このサービスにより遠隔からオペレータがリモートで支援できるようにすることで現地での随伴が不要となるため、同行援護のヘルパー不足を改善することが可能となる。

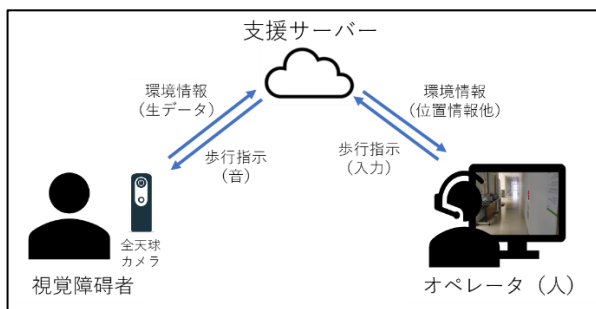


図 1.1 遠隔から人オペレータが誘導する支援サービス

本サービスの具体的な内容を図 1.1 に示す。まず、視覚障害者が持つ端末で取得された環境情報が支援サーバに送信される。その情報は支援サーバ内で人オペレータが理解しやすいように情報が加工され、人オペレータに送信される。人オペレータはこの提示された情報をもとに、視覚障害者に対する歩行指示を入力する。その入力された歩行指示は支援サーバ内で視覚障害者が理解できる音に変換され、視覚障害者に通知される。

人オペレータは主に、全天球カメラの映像で視覚障害者の周囲の環境を確認して誘導指示を行う。全天球カメラを用いることで、人オペレータは通常のカメラよりも広範囲な環境認知を行える。しかし、全天球カメラの映像だけでは視覚障害者を安全に誘導することは難しいと考えられる。その理由としては、案内のルートが分からない、通路の曲がった先がどうなっているのかが分からないが挙げられる。そのため、人オペレータが安全に案内を行うためには、カメラ映像と共にカメラ映像からは得られない不可視情報を人オペレータが事前に確認することが必要だと考えられる。

1.3 マップ重畳技術と SLAM

カメラ映像で見えないものを可視化するために、地図に可視化情報を重畳する技術がある。これは地図の上に様々な付帯情報を重ねて表示するというものである。重畳された地図情報を提示することで、人オペレータに対し安全に

誘導するための情報を提供する。人オペレータが把握すべき情報として視覚障害者の位置、向き、速度がある。位置と向きについては、視覚障害者の地図における現在地と向いている方向を把握するために主に用いられる。速度については、右左折指示を行うタイミングについて主に用いられる。

屋内外で位置、向き、速度を推定する技術として SLAM がある。SLAM とは位置特定と空間認知による環境地図作成を同時に行う技術である。SLAM はセンサが移動しながら空間認知を行うことで環境地図作成を行う。これと同時にセンサの位置、向きの変化である移動量を逐次的に推定して、その環境地図上の自己位置を特定する。本稿ではこの位置特定に着目し、事前に作成した環境地図を既存情報として、位置、向き、速度の推定に用いている。SLAM の利点として GPS では難しい屋内での利用が可能であること、Wi-Fi などの電波を用いたものよりも高精度な測位を行えることが挙げられる。SLAM には使用するセンサの違いにより主に LiDAR SLAM、Visual SLAM、Depth SLAM の 3 つに分けられる。LiDAR SLAM は LiDAR やレーザースキャナといった距離センサを用いて SLAM を行う。Visual SLAM(以下、VSLAM)はカメラ画像を用いて SLAM を行う。そのカメラには種類がありモノ、ステレオ、全天球などがある。この VSLAM では直接距離の情報を得ることができないため、特徴点抽出、特徴点マッチングといった 3 次元復元の機構を組み込む必要がある。Depth SLAM は ToF センサや RGB-D カメラを用いたもので、深度情報を含んだ画像データを用いて SLAM を行う。

本稿ではオペレータが全天球カメラの映像を用いて誘導を行うことを想定しているので、その設備と共用が可能 VSLAM を採用した。SLAM において、現在の位置がわからない状態で、これまでに作成された環境地図である既存情報と、現在のセンサ情報に基づいて位置を推定する方法を *relocalization* (再局在化, リローカリゼーション) という。この *relocalization* を用いることで、位置が全く不明な場合でも、既存情報から測位することができる。この機能は画像特徴量による画像検索が主に利用されていて、VSLAM において多く実装されている。しかし、この *relocalization* では現在の画像データと既存環境地図のフレームを全照合する必要があるため、大規模な環境では短時間で処理を行うことが困難である。この問題の解決が本研究における主目的となっており、大規模な環境で VSLAM の *relocalization* を行うための技術が必要である。

2. 関連研究

2.1 大規模環境向けのメモリ管理を備えた Visual SLAM

Fu Li ら[3]は、最新の SLAM システムでは探索範囲の増加に連れてマップのサイズが無制限に大きくなり、メモリの消費量が無制限に増加する問題を指摘している。この問

題を解決する手法として、著者らはメモリ管理を備えたメモリ消費効率の高い SLAM システムの構築によるアプローチを提案している。この手法では SLAM フロントエンドとデータベースサーバエンドが連携することにより、サーバ上のグローバルマップの一部をフロントエンドのメモリ上にローカルマップとして展開することによって VSLAM 実行時のメモリ消費を削減している。この研究では VSLAM を用いた大規模な環境地図の作成を目的としていると考えられ、既存の大規模な環境地図から位置の初期化を行うことについての検討がされていない。既存環境地図を用いた SLAM システムの *relocalization* ではカメラが捉えている画像と類似するキーフレームの検索を環境地図上の全てのキーフレーム画像から Bags of Visual Words (BoVW) を用いて行う。環境地図のデータ量が増えた際に、この BoVW による類似画像検索にかかる時間と環境地図の読み込みにかかる時間は増加する。従って、大規模な環境地図における *relocalization* の実行については環境地図を分割して使用する手法を検討する必要があると考える。

2.2 大規模な屋内外環境における SLAM のためのマップ管理手法の検討

ほとんどの SLAM アルゴリズムは、指定されたセンサーとパラメータ構成に基づいてマップを生成し、これらは事前に人間の監督者が指定する必要がある。このパラメータ構成は特定の環境に適したものであるが、マッピング中に環境が変化すると SLAM アルゴリズムが最善の結果を生成しない可能性があると考えられる。このことから、Simon F. G. Ehlers ら [4] は、空港や病院など、大小の部屋、廊下、屋外エリアがある非常に大きな建物で動作する移動ロボットは、1 つの特定のセンサーとパラメータ構成で単一のマップを作成することは合理的ではないと主張している。加えて、エレベータで接続された複数のフロアをナビゲートすることは、単一のマップアプローチでは解決が困難であると主張している。著者らはこの問題を解決するために、次のマッピングアプローチによって作成された SLAM 環境地図をトポロジカル・メトリックマップ形式のマップとして自律的に整理及び配置するアルゴリズムを提案している。そのマッピングアプローチ手法は距離センサーデータを評価してドア等の出入り口を認識することにより、新しい部屋または屋内・屋外の変化を自動的に検出し、ロボットが新しい部屋・環境に入ると、それに適した SLAM 構成が自動的に選択され新しいマップが作成されるものである。この研究ではマップの分割により個別の環境に適したシステム構成を用いて SLAM を実行することを主な目的としていられる。従って、未知の SLAM 入力データからこの分割された SLAM 環境地図群上の位置を推定するためには、全ての SLAM 環境地図について *relocalization* を実行する必要があると考えられる。しかし、全ての SLAM 環境地図について SLAM を実行するのは現

实的ではないため、*relocalization* に使用する SLAM 環境地図を絞り込む手法の検討が必要であると考えられる。

3. 提案手法

relocalization に使用する SLAM 環境地図を絞り込む手法として、Wi-Fi や Bluetooth 等の無線電波による測位結果を用いて行うことが考えられる。無線電波を用いる測位手法の 1 つに、Wi-Fi アクセスポイントからの電波受信強度を用いる Fingerprint という手法がある。Fingerprint は既に設置されている設備を用いるため、測位のための設置コストが不要なことに加えて、設備が設置されている位置の情報が不要というメリットがある。しかし、Fingerprint による測位は周辺環境の変化により推定精度が大きく低下してしまうため、定期的に再計測を行い Fingerprint に用いるデータベースを更新する必要がある。

そこで、私たちは観測された情報から動的に SLAM 環境地図を絞り込む手法を提案する。この手法では SLAM 環境地図生成に用いるカメラ画像等のセンサーデータ(以下、SLAM センサーデータ)収集の際に、その移動中に観測される Wi-Fi 電波のスキャン結果を同時に収集し、生成された SLAM 環境地図とそのスキャン結果を対応付けて蓄積する。これにより、未知の場所において観測された Wi-Fi 電波のスキャン結果と、蓄積されたデータの中から関連する環境地図の候補を動的に既存情報群として選択が可能となる。本手法では Wi-Fi 電波を用いた位置推定は行わず、直接 SLAM 環境地図を選択するため、Wi-Fi 測位のための煩雑なデータベースを更新作業が不要である。本提案手法は既存情報蓄積ステップ、既存情報群選択ステップ、既存情報決定ステップの 3 ステップで構成されている。

・既存情報蓄積ステップ

事前に測位を行うフロアで端末を持って歩行を行い、SLAM に入力するセンサーデータと Wi-Fi スキャンデータ s を同時に収集する。この収集したセンサーデータを SLAM に入力することで点群ファイルが作成される。ここでの点群ファイルとは、SLAM 実行後に作成される SLAM 環境地図を格納したファイルのことである。Wi-Fi スキャンデータ s は観測した Wi-Fi アクセスポイントの MAC アドレスの集合であり次式で表す。

$$s = \{a_0, a_1, \dots, a_k, \dots, a_K\}$$

a_k はアクセスポイントの MAC アドレスで、 K はスキャンで観測されたアクセスポイントの数である。この点群ファイルと Wi-Fi スキャンデータ s を合わせて 1 単位の歩行データとして歩行データ別テーブル登録する。この歩行データ別テーブルを、MAC アドレスをキーとするテーブルへ組み換えた AP 別テーブルを作成すると、このテーブルの各レコードは、MAC アドレスとその MAC アドレスを観測した点群ファイルの集合として表記することができる。こ

ここで関数 L を「MAC アドレスを入力すると、その MAC アドレスを観測した点群ファイルの集合を出力するもの」として定義すると、MAC アドレス a_k が観測される環境地図ファイルの集合は次式で表せる。

$$L(a_k) = \{l_0, l_1, \dots, l_n, \dots, l_{N(a_k)}\}$$

l_n はアクセスポイント a_k が観測される第 n 番目のマップファイル、 $N(a_k)$ はアクセスポイント a_k が観測されるマップファイルの数を表す。この関数 L は AP 別テーブルのレコードに対応しており、AP 別テーブルにより MAC アドレスから点群ファイルの選択が行えるようになる。本ステップで作成される、歩行データ別テーブルの例を表 3.1 に、AP 別テーブルの例を表 3.2 に示す。

表 3.1 歩行データ別テーブルの例

歩行データID	歩行データ構成物	
	点群ファイル	Wi-Fi スキャンデータ
w_0	map0	{ap0, ap3, ...}
w_1	map1	{ap0, ap4, ...}
w_2	map2	{ap1, ap2, ...}
\vdots	\vdots	\vdots

表 3.2 AP 別テーブルの例

MAC アドレス	点群ファイル集合
ap0	$L(ap0) = \{\text{map0}, \text{map1}, \dots\}$
ap1	$L(ap1) = \{\text{map2}, \text{map4}, \dots\}$
\vdots	\vdots
a_k	$L(a_k) = \{l_0, l_1, \dots, l_n, \dots, l_{N(a_k)}\}$
\vdots	\vdots

・既存情報群選択ステップ

既存情報群選択ステップには Wi-Fi スキャンデータ s と既存情報蓄積ステップで作成した AP 別テーブルを用いる。本ステップでは、関数 L を用いて Wi-Fi スキャンデータ s に含まれる全ての MAC アドレスに対して、点群ファイルの集合の選択を行い、その結果の和をとったものを $B(s)$ とする。このとき、Wi-Fi スキャンデータ s が観測したときの点群ファイル候補の集合は

$$B(s) = \{b_0, b_1, \dots, b_m, \dots, b_M\} = \bigcup_{k=0}^K L(a_k)$$

となる。 b_m は $B(s)$ の第 m 番目の点群ファイル候補、 M は点群ファイル候補の数である。従って、本手法により、蓄積されている全ての点群ファイルから M 個の点群ファイルを動的に選択できることになる。

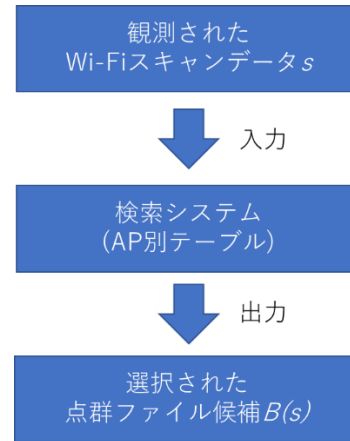


図 3.1 既存情報群選択ステップの流れ

・既存情報決定ステップ

既存情報群検索後では、その候補全ての点群ファイルについて、SLAM の *relocalization* により現在の観測されている SLAM センサデータの照合を行う。この照合は点群ファイル候補数 M 個の SLAM を並列動作させて行う。その照合結果から測位に利用する最終的な点群ファイルが決定される。

4. 実験

4.1 システムの実装

視覚障害者は全天球カメラとスマートフォンの 2 つを装着する。全天球のカメラ映像はスマートフォンのテザリング経由で WebRTC を用いてインターネット上の SFU サーバに送信され、スマートフォンでは観測された周囲のアクセスポイントの MAC アドレスである Wi-Fi スキャンデータは支援サーバに送信される。SFU サーバでは支援サーバとオペレータに対しカメラ映像分配を行う。

支援サーバではスマートフォンから取得した Wi-Fi スキャンデータを用いて、事前に蓄積された既存情報群から動的に点群ファイル候補の選択を行う。その点群ファイル候補と、取得されたカメラ映像を用いて VSLAM の *relocalization* を並列動作させ、最終的に位置特定に用いる点群ファイルを決定する。その点群ファイルを用いた *relocalization* の結果がその点群ファイルの座標系におけるカメラ姿勢となる。次に、そのカメラ姿勢を位置特定に用いた点群ファイルと対応する座標変換ファイルを用いて、地図上の位置と向きに変換する。その位置と向きの情報を地図情報に重畳しオペレータへ送信する。オペレータは視覚障害者側からのカメラ映像と、支援サーバからの重畳された地図情報を確認できる。オペレータは画面上に表示されているそれらの情報を用いて視覚障害者に対し誘導指示を送信する。視覚障害者は所持するスマートフォンから通知される誘導指示にしたがって歩行を行う。

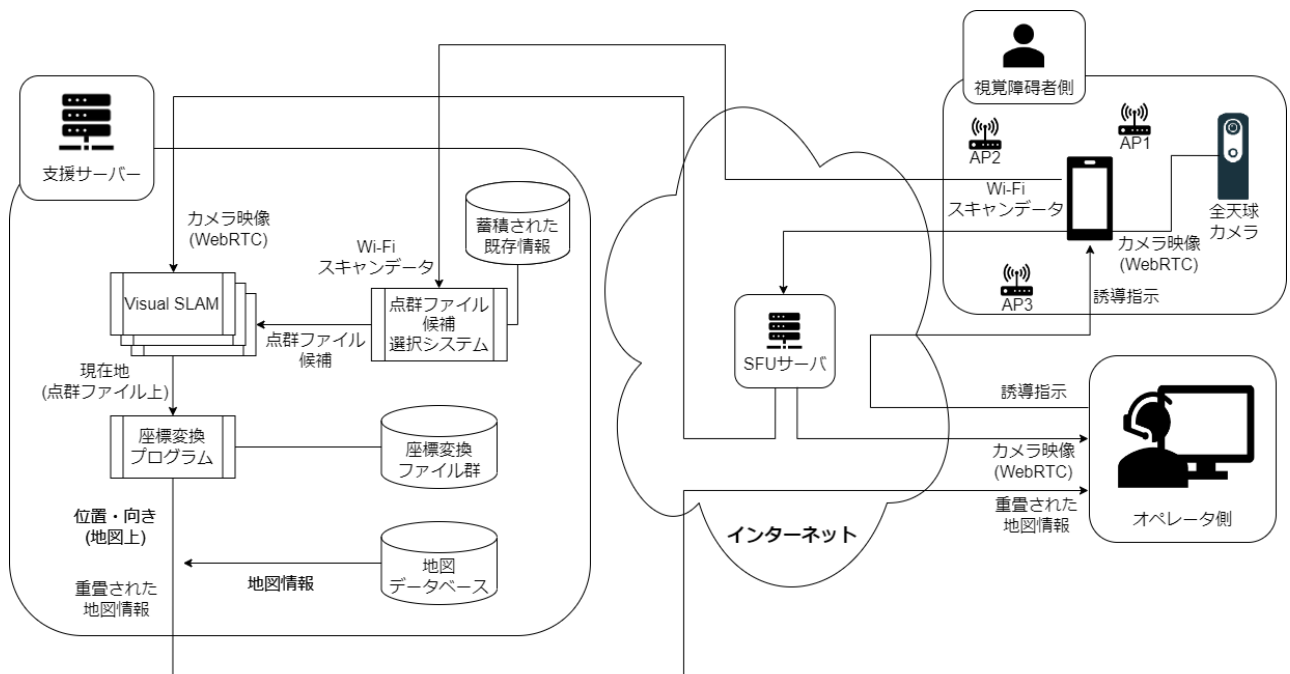


図 4.1 支援システム全体の構成

4.2 実験概要

実験の目的は2つある。1つ目は、観測された Wi-Fi スキャンデータを用いて、全ての既存情報から正しい点群ファイルを含んだ点群ファイル群を候補として選択できることの確認である。2つ目は、選択された点群ファイル群から VSLAM により正しい点群ファイルを決めることの確認である。ここでの Wi-Fi スキャンデータは、観測された Wi-Fi アクセスポイント(AP)の MAC アドレスの集合である。

実験は次の5つのデータを用いて行う。

- 歩行点群ファイル
 ルートの歩行により記録された画像データにより作成される点群ファイル
 - 歩行スキャンデータ
 ルートの歩行により観測された、Wi-Fi スキャンデータ
 - 歩行データ
 同時に収集された、画像データから作成された歩行点群ファイルと歩行スキャンデータの組
 - 検証スキャンデータ
 歩行ルート上の検証地点における1回分の Wi-Fi スキャンデータ
 - 検証画像データ
 歩行ルート上の検証地点における取得される最初のフレームから30フレーム分のカメラ画像
- 実験の評価は検証スキャンデータからそのデータをスキャンした地点を含んでいるルート上で収集した歩行点群ファイルを候補として選択できること、また、検証画像デ

ータからそのデータを記録した地点を含んでいるルート上で収集した画像データにより作成された歩行点群ファイルを決めることを確認する。

4.3 実験方法

実験場所は千葉工業大学津田沼キャンパス 2 号館の 10 階(F10)、12 階(F12)、14 階(F14)の3フロアで行う。図 4.2 は実験場所の 12 階の場合の例を示しており、他の階についてはほとんど同じ構造のため省略している。歩行データ収集については、各フロアでルート1とルート2の2経路の計6経路で1回ずつ行う。図 4.2 の緑色の点を開始地点として、オレンジ色の線の経路で道路トポロジ上を歩行しながら Wi-Fi スキャンと画像データの記録を同時に行う。このときに記録された全ての画像データから作成された点群ファイルを歩行点群ファイル、全ての Wi-Fi スキャンデータを合成したものを歩行スキャンデータとする。この2つの組を1歩行データとする。検証データ収集については、各フロアにおいて図 4.2 の赤色の点で示す A、B、C、D の4箇所計12箇所で行う。具体的には図 4.2 に示す赤色の点に立ち、赤色の矢印の方向を向いて静止して検証スキャンデータと検証画像データの記録を同時に行う。Wi-Fi スキャンには Pixel 4a、画像データの記録には THETA V、VSLAM の実行には Ubuntu 20.04 上で OpenVSLAM[5]のフォーク版(現 stella_vslam)を用いた。歩行スキャンデータ収集の際の Wi-Fi スキャン間隔は 1[s]とし、電波強度が -70[dBm]以上の MAC アドレスを観測対象とした。画像データの記録については THETA V プラグインの録画機能を用いて行った。

検証スキャンデータに記録された AP の MAC アドレスを含む歩行スキャンデータと組になっている歩行点群ファイルを点群ファイル候補とする。また、今回の実験において候補から最終的に1つの点群ファイルの決定プロセスについて以下の手順で行う。

1. 30 フレーム分のカメラ画像データを用いて全ての点群ファイル候補について VSLAM の relocalization を実行
2. 成功した relocalization の結果が単独の場合はその結果を返した点群ファイルを決定点群ファイルとする
3. 成功した relocalization の結果が複数ある場合は、成功したフレームにおける姿勢推定に有効な特徴点数 (num_valid_obs) の値が最も高い結果を返した点群ファイルを決定点群ファイルとする

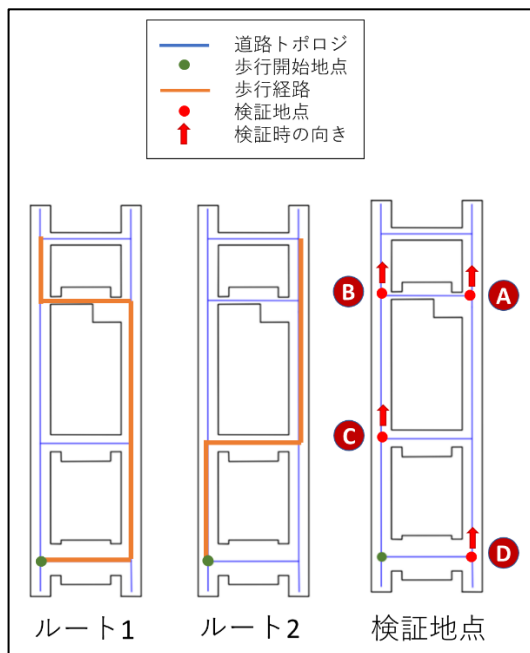


図 4.2 実験経路と検証地点 (12 階の場合)

4.4 実験結果

4.2 節で定義した、歩行点群ファイル、歩行スキャンデータ、歩行データ、検証スキャンデータ、検証画像データの5つのデータを用いて実験の評価を行った。

表 4.1 歩行データの構成

歩行データID	収集場所	歩行データ構成物	
		歩行点群ファイル	歩行スキャンデータ
Walk0	F10(ルート1)	Map0	Scan0
Walk1	F10(ルート2)	Map1	Scan1
Walk2	F12(ルート1)	Map2	Scan2
Walk3	F12(ルート2)	Map3	Scan3
Walk4	F14(ルート1)	Map4	Scan4
Walk5	F14(ルート2)	Map5	Scan5

表 4.2 歩行スキャンデータの観測結果

歩行スキャンデータ	観測数 [個]
Scan0	35
Scan1	34
Scan2	44
Scan3	43
Scan4	42
Scan5	47

表 4.3 検証スキャンデータと歩行スキャンデータの一致結果

検証スキャンデータ	収集場所	観測数 [個]	一致MACアドレス数[個]					
			Scan0	Scan1	Scan2	Scan3	Scan4	Scan5
F10A_s	F10(A)	16	16	16	1	0	0	0
F10B_s	F10(B)	17	15	15	1	0	0	0
F10C_s	F10(C)	25	24	25	2	2	1	1
F10D_s	F10(D)	14	14	14	0	0	0	0
F12A_s	F12(A)	20	1	0	20	20	0	0
F12B_s	F12(B)	16	1	0	14	15	0	0
F12C_s	F12(C)	24	1	0	23	23	0	0
F12D_s	F12(D)	18	0	0	18	18	0	0
F14A_s	F14(A)	7	0	0	0	0	7	6
F14B_s	F14(B)	18	0	0	0	0	18	17
F14C_s	F14(C)	22	0	0	0	0	21	22
F14D_s	F14(D)	10	0	0	0	0	10	10

表 4.4 点群ファイル決定結果

検証画像データ	収集場所	点群ファイル候補	決定点群ファイル	正解点群ファイル
F10A_i	F10(A)	Map0, Map1, Map2	Map1	Map0, Map1
F10B_i	F10(B)	Map0, Map1, Map2	Map0	Map0
F10C_i	F10(C)	Map0, Map1, Map2, Map3, Map4, Map5	Map1	Map1
F10D_i	F10(D)	Map0, Map1	Map0	Map0
F12A_i	F12(A)	Map0, Map2, Map3	Map3	Map2, Map3
F12B_i	F12(B)	Map0, Map2, Map3	Map2	Map2
F12C_i	F12(C)	Map0, Map2, Map3	Map3	Map3
F12D_i	F12(D)	Map2, Map3	Map2	Map2
F14A_i	F14(A)	Map4, Map5	Map5	Map4, Map5
F14B_i	F14(B)	Map4, Map5	Map4	Map4
F14C_i	F14(C)	Map4, Map5	Map5	Map5
F14D_i	F14(D)	Map4, Map5	Map4	Map4

表 4.1 に評価に用いた歩行データごとの収集場所と歩行点群ファイルと歩行スキャンデータの組を示す。階層名+地点名_の末尾に s を加えたものを検証スキャンデータ、i を加えたものを検証画像データと定義する。この検証スキャンデータと検証画像データにおいて、末尾以外が同一のものは同一地点かつ同時に収集したデータとする。表 4.2 に歩行スキャンデータごとの観測された MAC アドレス数を示す。表 4.3 に検証スキャンデータごとの収集場所、MAC アドレスの観測数、各歩行スキャンデータと一致した MAC アドレスの数を示す。表 4.4 に、検証画像データごとの収集場所、同時に収集した対応する検証スキャンデータにより選択された点群ファイル候補、点群ファイル候

補の中から VSLAM により最終的に決定された点群ファイル, 決定すべき正解点群ファイルを示す. この点群ファイル候補は MAC アドレスが 1 つでも一致した歩行スキャンデータに対応する歩行点群ファイルである. 例えば, 歩行スキャンデータ F10A_s において Scan0 に含まれる MAC アドレスと 1 つ以上一致しているため, F10A_i において Map0 が点群ファイル候補となっている. また, この点群ファイル候補のうち正解点群ファイルと一致しているものを赤字で示す.

表 4.4 の全ての検証画像データにおける点群ファイル候補に正解点群ファイル候補全てを含んでいるという結果から, 12 データ全ての場合で検証スキャンデータを用いて正解の歩行点群ファイル全てを点群ファイル候補として選択できていることがわかる. 加えて, 同じく表 4.4 の F10C_i 以外の場合で点群ファイル候補の数が 3 個以下という結果から, 12 データ中 11 データの場合で検証スキャンデータを用いて歩行点群ファイル全体から削減して候補を選択できていることがわかる. また, 同じく表 4.4 の全ての検証画像データにおける決定点群ファイルが正解点群ファイルの中から一意に決定している結果から, 12 データ全ての場合で検証画像データを用いて正解の歩行点群ファイルを決まできていることがわかる.

5. 考察

今回の実験では, 歩行スキャンデータを用いて選択した歩行点群ファイル候補のみを用いて, VSLAM の *relocalization* を用いた点群ファイルの決定プロセスを行った. しかし, 12 データ中 1 データで最大 6 つ全ての歩行点群ファイルを候補とする場合が発生しているという表 4.4 の結果から, 本手法は点群ファイル候補が増加する可能性があることが考えられる. 従って, 点群ファイルの候補数が多くなると正しい点群ファイルが決定される可能性が低くなることを考えておく必要がある. そこで, 全ての検証画像データに対し, 6 つ全ての歩行点群ファイル候補を用いて本決定プロセスの検証を行った.

表 5.1 に本検証を行った結果を示す. 表 5.1 は検証画像データごとの各歩行点群ファイルにおける決定点群ファイルと正解点群ファイルとして表している. この表における赤字の検証画像データは正解の点群ファイルを一意に決定できなかったものを示している. また, num_valid_obs の値を示した詳細な決定プロセスの検証結果を F14B_i について図 5.1 に, F14C_i について図 5.2 に示す. 図 5.1 と図 5.2 において, 縦軸は num_valid_obs の個数, 横軸は検証に用いた歩行点群ファイルである. また, 両図において値がない結果は検証画像データを用いた *relocalization* に成功しなかった歩行点群ファイルを表し, 赤枠で囲んだ結果は検証画像データが決定すべき正解の歩行点群ファイルを表している.

表 5.1 決定プロセスの検証結果

検証 画像データ	決定 点群ファイル	正解 点群ファイル
F10A_i	Map1	Map0, Map1
F10B_i	Map0	Map0
F10C_i	Map1	Map1
F10D_i	Map0	Map0
F12A_i	Map3	Map2, Map3
F12B_i	Map2	Map2
F12C_i	Map3	Map3
F12D_i	Map2	Map2
F14A_i	Map5	Map4, Map5
F14B_i	Map0, Map4	Map4
F14C_i	Map5	Map5
F14D_i	Map4	Map4

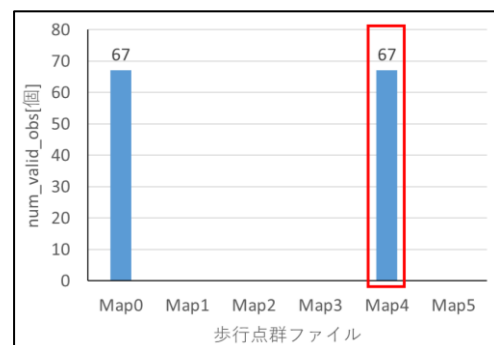


図 5.1 F14B_i の検証結果

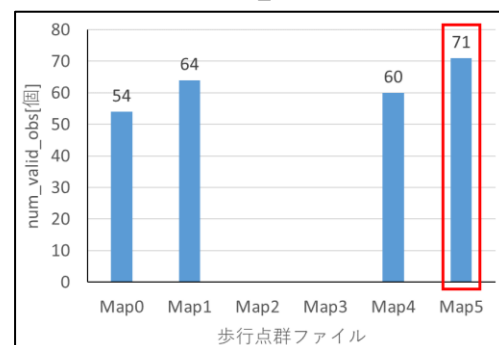


図 5.2 F14C_i の検証結果

表 5.1 の結果から, 決定プロセスに用いる歩行点群ファイルを 6 つ全てにした場合, 12 データ中 11 データの場合で正しい歩行点群ファイルを一意に決定でき, 1 データの場合一意に決定できないことがわかる. 図 5.1 に示す F14B_i の結果は決定できなかった例を示しており, 最も num_valid_obs の値が大きい歩行点群ファイルが 2 つ存在していることがわかる. また, 歩行点群ファイルを一意に決定できた結果においても, 図 5.2 に示す F14C_i の場合では num_valid_obs の最も大きい値(71[個])と次に大きい値(64[個])の差は 7[個]と小さく, 決定された点群ファイルが正解である可能性が高いとはいえないことがわかる. 従って, num_valid_obs を用いた決定プロセスは点群ファイルの

決定に有効であるが、確実な方法とはいえないと考えられる。

私たちはこの問題を解決する手法として、提案手法を用いた点群ファイルの決定と測位を定期的に複数回行うことを提案する。この手法は点群ファイルの決定回数と複数回の測位結果を用いる。点群ファイルの決定回数については、これが多いファイルほど正解ファイルである可能性が高いと考えられる。また、複数回の測位結果については、結果間の座標変化の空間的・時間的に正当性が高いファイルほど正解ファイルである可能性が高いと考えられる。従って、決定回数と座標変化の2つの指標を用いて点群ファイルの決定を行うことで、高い確率で正しい点群ファイルの決定が行えると考える。

6. おわりに

視覚障害者の移動を人オペレータが支援するためには利用者の位置と向きが重要である。本稿ではこの情報を提供することを目的とした、大規模な環境においてSLAMを用いた測位を行うための環境地図候補選択手法についての検討を行った。実験の結果、本手法により事前に蓄積した環境地図ファイル群からWi-FiのMACアドレスを用いてVSLAMのrelocalizationが行えることがわかった。

今後の展望として、サービス利用時に新たに得られるカメラ映像とWi-Fiスキャンデータを用いて、既存情報の蓄積を自動的に行う手法を考えている。この手法を用いることで、次以降のサービス利用時に最新の環境の適応したデータを利用できるようになる。この手法には別途、新規環境地図と現実地図の間の座標の関係付けを自動的に行うシステムが求められるため、このシステムの実装についても検討を進めていきたいと考えている。

また、現状システム構成ではSLAM実行のシステム負荷が大きいため、同時にサービスを利用する数が増える場合はシステム負荷の分散を検討する必要がある。将来的には視覚障害者側の端末で測位に関する処理を行うことが望ましいと考えられる。中込ら[6]は、相対座標の算出に視覚障害者側の端末を用い、その相対座標を絶対座標に変換するための初期値を得る手段としてサーバ上のVSLAMを用いる手法を提案している。本稿の提案手法に加えて、この手法を実装したシステムを用いて、実際にサービスの利用環境に合わせた実験を行い、問題点の検証を進めていきたいと考えている。

参考文献

- [1] 木村 駿介：視覚障がい者移動支援ロボットAIスーツケースの開発と制御バリア関数を用いた衝突回避アシスト制御の実装, 清水建設研究報告, 99, pp.39-46, 2021
- [2] 清水 信作, 原 拓海, 森 信一郎：視覚障害者向け単独歩行支援システムの開発, 研究報告コンシューマ・デバイス&システム (CDS), 2022-CDS-33, 9号, pp.1-8, 2022
- [3] Fu Li, Shaowu Yang, Xiaodong Yi, Xuejun Yang : Towards Visual

- SLAM with Memory Management for Large-Scale Environments, Advances in Multimedia Information Processing – PCM 2017, PCM 2017, pp. 776-786, 2018
- [4] Simon F. G. Ehlers, Marvin Stuede, Kathrin Nuelle, Tobias Ortmaier : Map Management Approach for SLAM in Large-Scale Indoor and Outdoor Areas, 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2020
 - [5] Shinya Sumikura, Mikiya Shibuya, Ken Sakurada : OpenVSLAM: A Versatile Visual SLAM Framework, Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia, pp. 2292-2295, 2019
 - [6] 中込 瑞大, 羽生田 浩貴, 森 信一郎：視覚障害者の自律歩行支援を目的とした Visual-Inertial Odometry によるナビゲーションシステムの検討, 研究報告コンシューマ・デバイス&システム (CDS), 2022-CDS-33, 8号, pp.1-8, 2022