

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

中込瑞大¹ 羽生田浩貴¹ 森信一郎¹

概要：近年では、点字ブロックのように視覚障害者の移動の支援を目的とした設備の導入が広く行われてきている。一方で、大学構内のように、諸事情によりそうした設備を設置できない場所がある。そこでこの問題に対し、固定された構造物に設置した QR コードを撮影することによるキャリブレーションと、それによって得られた位置・姿勢情報を基にスマートフォンに搭載されたジャイロセンサ・加速度センサを用いた自律航法を利用した測位を行うことで利用者の位置及び方位を推定し、利用者を誘導するといった手法の検討を行ってきた。しかし、QR コードの向きや利用者の持つ端末の向きによって測位の精度が変化してしまうなどの問題があった。本研究ではこうした問題の解決のため、より高精度に測位が可能な VisualSLAM 技術を利用することを検討したが、特徴点の少ない廊下などで角を曲がった際に現在位置および姿勢をロストしてしまう問題があることが分かった。そこで、自律航法を組み合わせることで現在位置および姿勢のロストを防ぎ、継続的なナビゲーションを可能とするシステムの検討を行った。

キーワード：歩行者自律航法, Visual Inertial Odometry, Visual SLAM, 屋内測位

Examination of navigation system by Visual-Inertial Odometry to support autonomous walking of visually impaired people

MIO NAKAGOME¹ HIROKI HANYUDA¹ SHINICHIRO MORI¹

Abstract:

In recent years, equipment such as Braille blocks has been widely introduced for the purpose of supporting the movement of visually impaired people. On the other hand, there are places such as university campuses where such equipment cannot be installed due to various reasons. Therefore, to solve this problem, we used a gyro sensor / acceleration sensor mounted on a smartphone based on the calibration by shooting a QR code installed on a fixed structure and the position / attitude information obtained by the calibration. We have been studying methods such as estimating the position and facing of the user by performing positioning using autonomous navigation and guiding the user. However, there is a problem that the accuracy of positioning changes depending on the orientation of the QR code and the orientation of the terminal held by the user. In this research, in order to solve these problems, we considered using Visual SLAM technology, which enables more accurate positioning, but lost the current position and posture when turning a corner in a corridor with few feature points. It turns out that there is a problem that ends up. Therefore, we investigated a system that prevents the loss of the current position and attitude by combining autonomous navigation and enables continuous navigation.

Keywords: Pedestrian Dead-Reckoning, Visual-SLAM, Visual-Inertial Odometry, Indoor positioning

1. はじめに

今日では、駅や歩道などといった人通りの多い様々な場所を中心に、音で青信号であることを伝える音響式信号機や単身での移動を補助する点字ブロックのような、視覚障害者の移動をサポートする設備が広く設置されてきている。こうした設備は、音の発信源によって音像定位をさせることや平行したブロックの溝に白杖が当たることによって、視覚障害者に進むことのできる向きを伝える役割があり、視覚障害者の自律的な歩行においては欠かすことのできない設備となっている。一方で、様々な背景をもつ人々が学びの為に訪れる大学の構内では、景観の保持のため、台車等の移動の妨げになるためなどといった諸般の事情に

より、点字ブロックの設置が進められていない現状がある。そのような経緯から、移動の補助となる設備がほぼ未設置であることが多い大学構内においては視覚障害者が自身の進行方向を確認する手段がなく、単身で移動することは困難であるといえる。この問題を解決するためには、点字ブロックが設置できない場所でその代替手段として視覚障害者の自律的な歩行を支援する仕組みが必要である。視覚障害者の歩行支援に関わる仕組みは現在も広く研究が行われており、特に GPS による測位を用いた屋外向けのナビゲーションシステムについてはそれを応用したサービスの提供が行われているなど既に実用段階に達している。しかし、GPS による測位は信号の届かない屋内においては利用することができないため、屋内でナビゲーションを行うことが

¹ 千葉工業大学
Chiba Institute of Technology

できるシステムが別途必要である。近年では、スマートフォンなどのデバイスが普及し、人や周囲の環境などさまざまなもののセンシングによる分析や利便化が可能となっている。屋内におけるナビゲーションシステムについては多くの提案がなされており、こうしたセンシングデバイスを活用した高い精度での屋内測位及び屋内ナビゲーションを可能としている技術も出てきている。とはいえ、今日においても屋内測位について確立・普及しているといえる手法が依然として存在せず、検討の余地があると考えられる。また、視覚障害者を対象とする場合、利用者は視覚情報が得られないことから測位技術による推定位置・方位を修正することが困難である。そのため、視覚障害者向けの測位技術においては十分な測位精度とリアルタイム性、持続性が求められる。その他、白杖や盲導犬等、常用の歩行補助を併用できることも要件として挙げられる。本稿では、これらの条件を充足すると考えられる測位手法について、既存の研究や提案にも触れつつ検討を行う。

2. 関連研究

屋内における視覚障害者の自律歩行の支援を目的とした測位技術の研究・開発は多く行われている。その中でも、利用者側の作業がスマートフォン上で完結するシステムを挙げている研究を3つ以下に示す。

2.1 歩行者自律航法 (PDR)

中込らは、スマートフォン端末に搭載されているジャイロセンサおよび加速度センサを利用した PDR (Pedestrian Dead-Reckoning) によって利用者の位置・方位を推定し、目的の地点まで持続的にナビゲーションを行うといった手法を提案している[1]。測位に PDR を用いる場合の課題として、PDR 単体で得られる情報がナビゲーション開始地点からの相対位置・方位のみである。そのため、PDR を用いて絶対位置・方位の推定を行うに当たっては基準となる絶対位置・方位が最低でも1箇所は必要となる。そこで、ナビゲーション平面上のポイントと実空間上の地点を、地点情報を格納した QR コードを現実空間上に設置して結びつけることで絶対位置・方位を得ることを試みている。具体的には、あらかじめ実空間における設置する場所の位置情報を入力した QR コードをその位置に事前に定めた一定の方位を向くように設置し、ナビゲーション開始時にナビゲーションアプリから読み込むことで、QR コードを読み込んだ地点とナビゲーション平面上のポイントの位置と方位の紐付けを行っている。また、スマートフォン端末のカメラで撮影した QR コードの歪みから端末の姿勢を推定することで、QR コードを撮影した時点での端末の向いている方位を推定し、利用開始時に予備的な移動を必要としない形で現在の利用者の方位を得ることを可能としている。こうして得た絶対位置・方位情報を自律航法によって持続

的に更新し、また、一定の間隔で前述した QR コードを設置し読み込むことで、長期に渡って高い精度で利用者の位置・方位を知ることができる仕組みとなっている。しかし、PDR において歩幅および歩行周期数を用いた歩行速度の算出方法を用いた場合では、歩行速度の精度が利用者の身長や歩き方、足の故障や体調など様々な要因によって大きく左右してしまう問題がある。また、QR コードによる姿勢推定では得られる位置・姿勢の精度が低く、位置・方位推定の精度に悪影響を及ぼしていると考えられる。この問題に関しては、AR マーカを姿勢推定用のマーカとして利用し、AR マーカからカメラ姿勢を推定するための適切なアルゴリズムを用いることで改善が見込めるものと考えられるが、いずれにおいても視覚障害者を対象とする場合には環境からマーカの設置位置を探してカメラの画角に写し込むという操作が困難である。これらの要因から PDR 単体においては正確な歩行軌跡を得ることが困難であり、同時に現在位置・方位についても正確性に劣る可能性が高くなる。特に、視覚障害者の歩き方は白杖の使用法と同様に個人差が大きく、自律航法システムのみによる測位はこうした現状から困難であると考えられる。

2.2 BLE-PDR と VIO を組み合わせた手法

視覚障害者向けの高精度な測位手法として、BLE-PDR を Visual-Inertial Odometry (VIO) で補正する手法[2]が提案されている。BLE-PDR では、BLE ビーコンと PDR (Pedestrian Dead-Reckoning) を組み合わせた手法で測位を行う。この手法のベースとなる BLE-PDR の提案[3]において、PDR 単体では視覚障害者の歩行特性により加速度センサの値から正しい歩行速度を得ることが困難であるとしており、加速度センサの値については利用者の移動状態の把握のみに利用している。BLE-PDR による測位では誤差 1~2m の精度を確立しているが、提案においては視覚障害者の十分なナビゲーションを行うためにはより高い精度であることが望ましいとしている。これに対し提案では VIO を位置の補正に利用している。VIO は端末に搭載されたカメラの映像と加速度センサ・ジャイロセンサといったセンサの連続的なデータから端末の3次元空間における位置及び姿勢の推定を行うことができる。VIO は局所的な測位精度に優れているとされるが、大域的な測位においては誤差の蓄積が問題となる事を挙げている。そこで、BLE-PDR と組み合わせる事によってそれぞれの技術の欠点を補いあう形で大域的に高精度なナビゲーションを行える仕組みを提案している。また、VIO では PDR では正しく取れない視覚障害者の歩行特性による移動も高精度に取得できることが挙げられている。このことから、VIO などカメラ映像もとい視覚情報に基づく高精度な測位は視覚障害者を対象とした測位手法の提案においては重要な技術であると考えられる。しかし、BLE ビーコンを用いる手法におい

て向きを知るためには事前に移動することが必要である。晴眼者であれば自身の向いている向きが分かった状態で歩き始めることが可能であるが、視覚障害者が利用する場合には歩き始める前の向きも重要であるといえる。また、PDR を主体として VIO で補完する場合、測位の精度は PDR の誤差に大きく依存するため、安定した PDR の測位精度の維持が必要であることが課題になると考えられる。

2.3 Visual SLAM を用いた屋内測位

端末のカメラによって捉えた映像から自己位置推定を可能とする技術である Visual SLAM (Visual Simultaneous Localization and Mapping, VSLAM) を屋内測位に用いている例が存在する。VSLAM を用いることで、屋内に散在する模様や構造といった特徴点から自己位置・姿勢を推定することができる。VSLAM はグローバルな一貫性を持った軌跡とマップの推定に焦点を当てた技術であり、以前にマッピングされた場所に再度訪れた際に、Loop Close 処理によって位置推定におけるドリフト誤差を抑えることができる。このような特徴から VSLAM を利用した自己位置・姿勢推定の精度は高く、広範囲にわたって cm オーダーの誤差で測位が可能という強力な手法であるといえる[4]。しかし、大学の研究棟の廊下など、壁や通路が白く塗られている場所や模様がないような場所では、利用可能な特徴点が少ないことから利用者が向きを変えるなどした際に位置・姿勢をロスト（喪失）する可能性が高くなる[5]。また、VSLAM は一度位置をロストしてしまうとロストする前の地点まで戻らない限り復帰が難しい。そのため、持続的なナビゲーションを行うためには、位置をロストした後も測位が途切れないようにする仕組みが必要である。また、VSLAM は計算コストが大きく、SLAM の特色であるマッピングを同時に行う場合、高性能なサーバー PC 上であっても遅延が発生する可能性がある。よって、一般的に普及しているスマートフォンで動作させることは現在のところ現実的ではないといえる。

3. 提案手法

そこで、本研究では Visual-Inertial Odometry (VIO) を主体として自律航法で補完を行う測位により利用者の位置をトラッキングする手法を提案する。VIO は Visual Odometry (VO) の一種で、端末のカメラで連続的に撮影した画像から抽出した特徴点と端末のセンサから得たデータを利用して、端末の位置姿勢の変化を高精度に推定することができる技術として知られている。VIO と VSLAM は動作原理は似ているが、VSLAM ではグローバルな一貫性に焦点を当てているのに対し、VIO はローカルな一貫性に焦点を当てた技術となっている[6]。また、スマートフォン上でも快適に動作するなど処理が軽いという特徴がある。しかし、VSLAM と同様に特徴点が少ない場所や明るさが不十分な

場所では姿勢の変化を推定するために十分な特徴点を得られずに、現在の姿勢をロストしてしまう場合がある。そこで、VIO が姿勢をロストするような状況下におけるフォールバックとして、自律的な測位が可能で環境の変化に強い自律航法を組み合わせ、それぞれの測位手法で得た位置および向きの変化を二次元平面上で一元管理することで、特徴点の得られない場所において位置・姿勢をロストしても途切れることのない持続的な測位を可能とすることを目指す。

3.1 提案システムの概要

提案するシステムでは、2次元平面上において利用者の位置および方位の推定を行う。基本的な流れを図1に示す。具体的には、誤差の小さい VIO を主軸に利用者の位置を更新していき、VIO がロストした場合にはその間 PDR によって補完を行うことで持続的に測位を行う。ただし、VIO 及び PDR で得られる位置は初期位置からの相対位置であるため、初期位置として絶対位置を指定する必要がある。そこで、今回は初期位置を得るために、事前にマッピングを行った VSLAM をクラウド上で稼働させる。図2に示すように、スマートフォンからクラウド上の VSLAM にカメラの映像フレームを送信し、その映像フレームから VSLAM によって推定された絶対位置・方位を取得、これを初期位置として VIO 及び PDR を補正する。

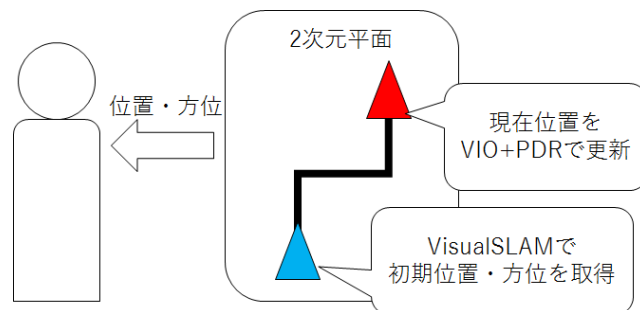


図1 提案システムの動作の概要

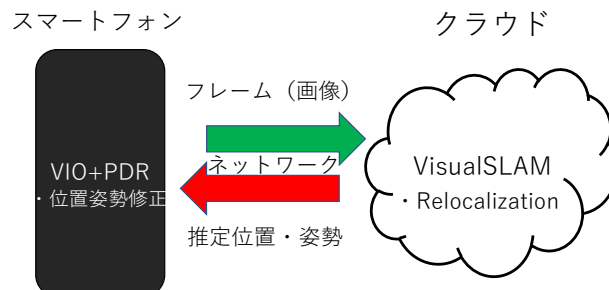


図2 提案システムの構成図

3.2 VSLAM による初期座標の推定

VIO 及び、自律航法で得られる位置・方位は初期化地点からの相対位置・方位であるため、相対位置・方位から現

実世界上の絶対位置・方位を得るためには初期化地点の現実世界の位置・方位の情報を何らかの手段で得る必要がある。本研究ではこの目的を充足する手段として VSLAM を用いた。VSLAM には初期化時や位置・姿勢のロスト時に既存マップから自己位置推定を行う Relocalization という仕組みがある。この Relocalization は、まず、入力画像から抽出した特徴点を Visual Word として類似画像検索を行う。類似画像検索では既存マップ内の類似度が最も高く、かつしきい値以上の Key Frame を探索する。そして、その探索で得た Key Frame と入力画像の特徴点の配置の比較を行ってカメラ姿勢を推定するというものである。この Relocalization の仕組みを用いることで画像から VSLAM 座標系内の端末の位置と姿勢を得ることができる。また、事前に VSLAM のための環境マップを作成し、そのマップを現実の座標と関連付けておくことで、VSLAM 座標系における結果を現実の座標系に変換することができる。その際、座標の関連付けは 2 次元で描かれている屋内地図に対して行われるため、3 次元で表されている VSLAM のマップを 2 次元平面へ変換する必要がある。この変換において、まず、最小二乗法による平面フィッティング処理を行い 3 次元点群のすべての点の距離が最小となるような平面を求める。そして、この求めた平面の法線ベクトルと VSLAM の座標系の XY 平面の法線ベクトルが一致するような回転行列を作成する。この回転行列を用いた座標変換後の 3 次元空間の Z 軸成分を除去することで 3 次元から 2 次元平面への変換を行う。

以上のように、VSLAM に端末から取得できるカメラ画像を入力し、現実世界の位置・方位の情報を得る手法を本研究では初期化手法として用いた。

3.3 VIO+PDR による相対位置推定

3.2 節で取得した絶対位置・姿勢に対して、VIO および PDR を用いることでそこからの相対位置・姿勢を推定する。VIO からは、3 次元空間である世界座標系における測位を開始した地点からの相対的な位置と姿勢を得ることができる。本提案におけるナビゲーションでは 2 次元平面上における位置・方位が必要である。そこで、VIO から得られる位置・姿勢を 2 次元平面上の位置・方位に変換する。位置については、VIO 内部で保持している 3 次元座標情報のうち、重力軸方向の値を除いた縦軸、横軸の値を利用する。方位については、同じく VIO 内部で保持している世界座標系における姿勢情報からヨー軸の回転角度を方位として得る。これを VIO が利用可能な間継続して行う。画像から特徴点が得られなくなるなどして VIO がロスト状態となったとき、VIO による測位から PDR による測位への引継ぎを行う。この際、VIO 内で保持している姿勢を PDR にコピーする。また、PDR によって補完を行う場合、復帰時に VIO 内部で保持している位置と 2 次元座標上にお

ける推定位置のつじつまが合わなくなるといった問題がある。そのため、ロストした際には同時に VIO のリセットも行う必要がある。ロストから復帰した際には、その時点での 2 次元座標上の位置および方位のオフセットをとり、再度その地点から VIO による位置・方位推定を再開する。

4. 実験

4.1 実験目的

動画のある再生時刻における動画上の位置とその動画と同期された時刻におけるシステム上の位置を比較することで、提案手法によるリアルタイム性を考慮した測位の精度を確認する。また、VIO を PDR で補完することによって、VIO が位置姿勢をロストした場合にも測位を継続できることを確認する。

4.2 実験機材

実験用のスマートフォン端末として Google Pixel 3a を使用した。この端末を保持する装置として、肩掛けホルダーを用いる。肩掛けホルダーにはスマートフォン端末を横向きに保持し、針金部分を首にかけることで胸部の前方にスマートフォンを固定できる。この肩掛けホルダーを被験者へ装着した際の概観を図 3 に示す。提案手法における Android スマートフォン上で動作させる Visual-Inertial Odometry の実装として、Google 社より SDK が公開されている ARCore[8]を用いた。また、クラウドとして、Ubuntu 20.04 上に VSLAM を用いて作成した環境マップファイル群を絶対座標データベースサーバーとして構築した。VSLAM の実装として、オープンソースでの公開が行われている OpenVSLAM[9]を使用した。構築したシステムでは事前に作成した複数の環境マップを探索し、クライアントから入力した画像に対応する絶対位置・方位を返すように構成している。実装したプログラムの構成図を図 4、動作の流れを図 5 にそれぞれ示す。

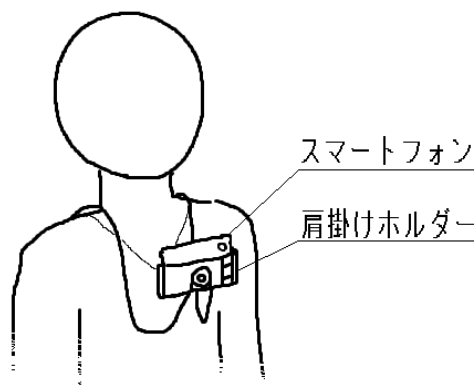


図 3 実験装置の装着の概観

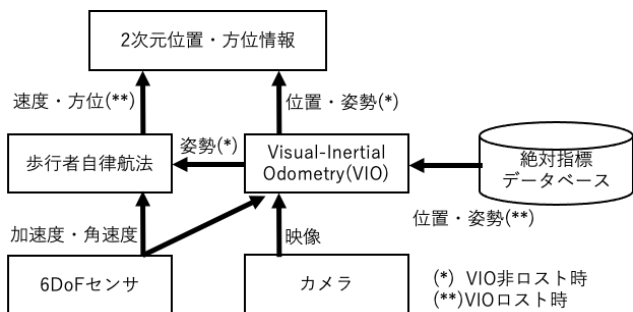


図4 提案システムのブロック図

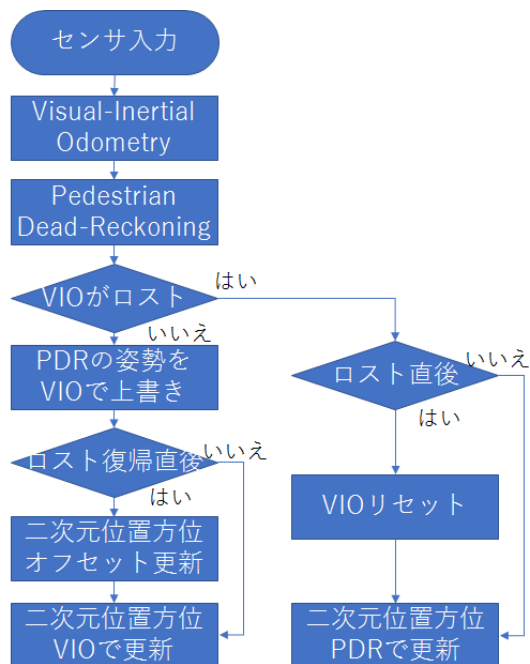


図5 提案システムのフローチャート

4.3 実験準備

まず、システムの位置と方位の初期化に必要な VSLAM で *Relocalization* を行うための環境マップの作成を行った。具体的には、OpenVSLAM を用いて実験場所を時計回り、反時計回りで周回する 2 つの環境マップを作成した。環境マップの作成には Google Pixel 4a で撮影した映像を用いている。次に VSLAM の結果を実世界の座標系に変換するため、メートル尺度の施設地図上で道路ネットワークの作成を行い、VSLAM で作成した環境マップとの対応付けを行った。この際、VSLAM で作成した環境マップを 2 次元に変換し、それを手作業でトポロジとしてトレースする前処理を行った。

4.4 自律航法システムの概要

PDR には中込らの提案する歩行者自律航法システムを改変したものを利用する。このシステムは速度推定モジュール、方位推定モジュール、位置推定モジュール、キャリブレーションモジュールの 4 つのモジュールで構成されて

いる。速度推定モジュールでは、加速度センサから得られた値を FFT 変換することにより歩行周波数を算出する。式 1 に示す、利用者の身長を $h[m]$ とした場合に歩行周波数 f から歩行速度を推定するアルゴリズム[7]を使用し、利用者の歩行速度 v を得る。

$$v = 0.001f^2 + 0.37hf \quad (1)$$

方位推定モジュールでは、クォータニオンによって 3 次元の世界座標系における端末の姿勢情報を保持しており、加速度センサによって重力軸を算出した後は 3 軸のジャイロセンサによって更新を継続的に行う。このクォータニオンから世界座標系におけるヨー軸の角度を方位として得ることができる。VIO が位置姿勢をロストした場合、このクォータニオンに VIO で推定された最後の姿勢情報を代入することで方位推定を引き継ぐ。位置推定モジュールでは時間 t_1 における二次元平面上の現在位置・方位 P_{t_1} を、速度推定モジュールから得られる速度 v と方位推定モジュールから得られる方位 \vec{d} を掛け合わせ、サンプリング時間 t で積分したものを二次元平面上の開始地点 S から加算し続けることで更新する。式 2 に位置推定のモデルを示す。

$$P_{t_1} = S + \sum_t \int \vec{d} v dt \quad (2)$$

キャリブレーションモジュールでは端末の初期位置の設定やセンサ等の初期化を行っている。今回は初期位置の取得方法として、前項で実装した手法を用いる。

4.5 実験方法

千葉工業大学津田沼キャンパス 2 号館 12 階の廊下を、事前に定めたルートで通路の中央を通るように歩行する。実験場所の概観を図 6 に示す。また、歩行可能な場所に対して図 7 に示すように曲がり角 (ノード) に記号を割り当てた。歩行はノードとノードを直線で結ぶように行う。実験における歩行ルートは周回 (正周り) と周回 (逆周り)、8 の字 (正周り)、8 の字 (逆周り) で、巡回する地点は以下の表 1 に示す通りに設定した。本実験ではシステムが記録するシステム内時刻ごとの測位結果と実験時の動画撮影を用いてデータ収集を行う。データ検証時に動画上で被験者が特定の位置を通過したことを確認できるようにするため、実験ルート上に図 9 で示すように、計 13 個のシールをそれぞれ指定した 13 箇所の地点の床に貼りつけることでこれをチェックポイントとした。チェックポイント番号 1 の地点を開始地点・終了地点として設定し、この地点に立って計測を開始する。この時、データ検証時に時刻の同期が必要となることから、システム内時刻と記録動画の再生時刻を合わせるため計測開始時にストップウォッチの記録画像をシステム上と動画上の両方に残すことで、そのストップウォッチの時刻を基準に 2 つの時刻を同期できる

ようにした。その後、初期位置・姿勢の取得が完了するまでその場で待機し、初期化の完了が確認できてから歩行を開始する。終了地点に到達した時点でデータの取得を停止し、動画の撮影も停止する。



図6 実験場所の様子

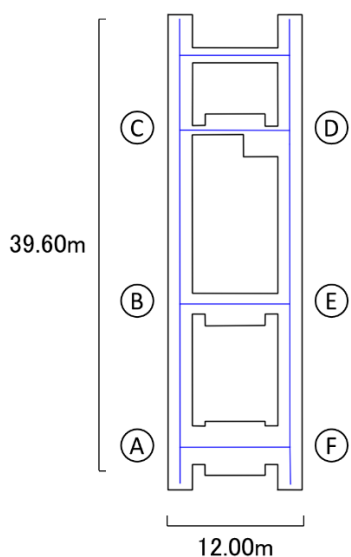


図7 実験場所の地図と道路ネットワーク

表1 実験経路の説明

呼称	ルート
周回 (正周り)	A-B-E-F-A
周回 (逆周り)	A-F-E-B-A
8の字 (正周り)	A-B-E-D-C-B-E-F-A
8の字 (逆周り)	A-F-E-B-C-D-E-B-A

4.6 評価方法

被験者がチェックポイントを通じた時刻のシステム内の測位座標とその通過したチェックポイントの座標の距離を測位誤差として比較を行う。チェックポイントの通過時刻は、動画データ上で被験者がチェックポイントに設置したシールを足で踏むことが確認できたタイミングと定義する。ただし、開始地点においては踏んだ時点での時刻が不明であるため、初期化時点でのタイムスタンプを通過時刻として用いる。

4.7 実験結果

地図上における周回、及び8の字のルートを歩行した移動軌跡を図8、図9に示す。また、同一時刻における移動距離に対する測位誤差は以下の図10、図11に示す通りであった。図10、図11における移動距離は通過したチェックポイントの座標間の距離の累計である。図9から、実際よりも推定位置が小回りになっていることがわかる。このことから、ARCore (VIO) においてスケールが実際より小さく推定されたと考えられる。また、歩行軌跡が地図に対して傾いていることから、初期化時の方位にずれが生じていたことがわかる。この影響で、実際の位置と推定された位置の誤差が、開始地点から一番遠い地点において大きく出る傾向が見て取れる。周回ルートでは全体の移動距離45mに対して誤差は最大約1.1m、平均約0.55mであることがわかった。一方で8の字ルートでは全体の移動距離95mに対して誤差が最大約2.4m、平均約0.92m出る結果となった。この結果から VIO のみを用いた場合の歩行距離に対する最大誤差率はおおよそ 2.5%程度であることがわかった。なお、本実験において ARCore が位置姿勢をロストしなかった為、本実験における結果から VIO の位置姿勢ロスト時における PDR による補完の有効性について示すことができないことがわかった。

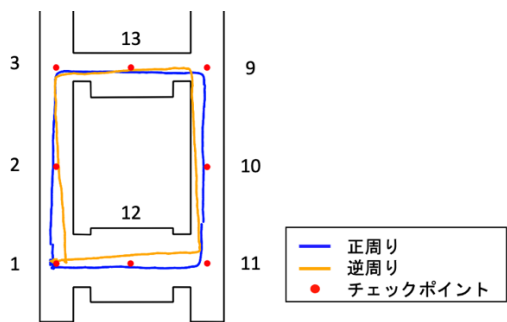


図 8 周回ルートの実験結果

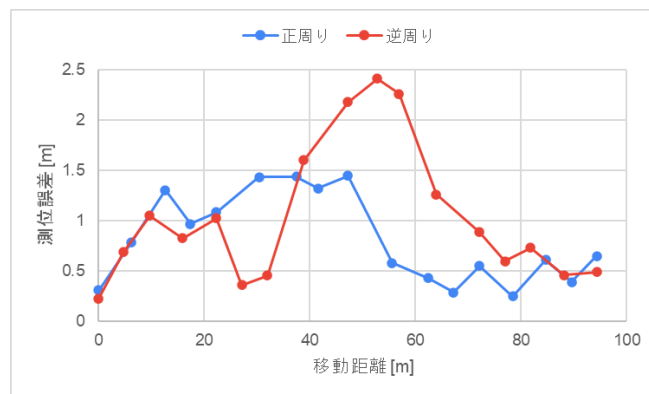


図 11 8の字ルートの移動距離に対する測位誤差

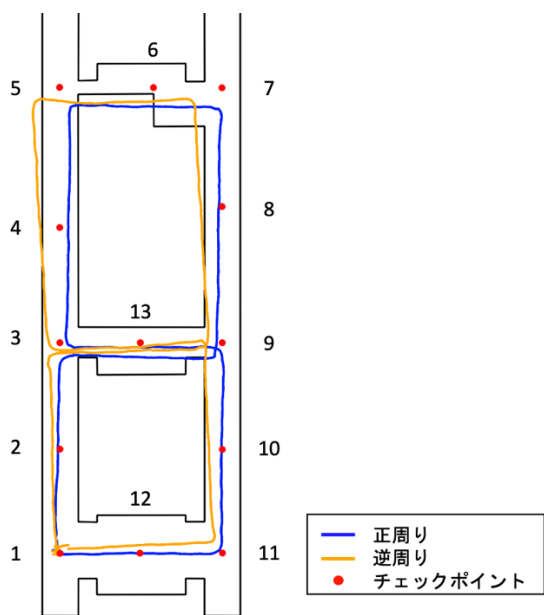


図 9 8の字ルートの実験結果

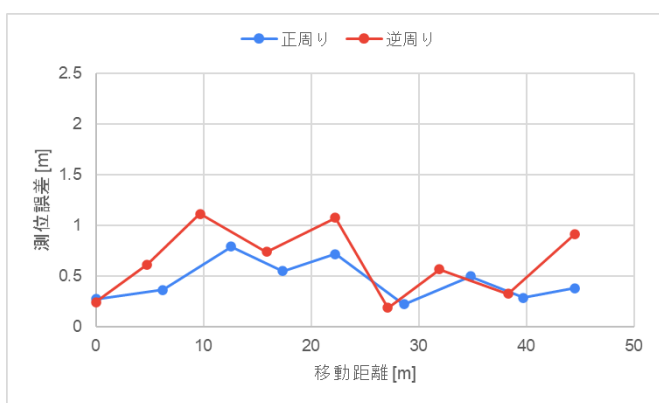


図 10 周回ルートの移動距離に対する測位誤差

5. 考察

今回作成したシステムでは、VIO として用いた ARCore のセッションをリセットする必要があった。これに対し SDK の公式リファレンス等を調査したが、セッションリセットに関する有力な情報を見つけることができなかった。そこで、ARCore を Fragment として実装し、リセットの必要が生じた際にはこれを破棄及び再生成する形で ARCore セッションのリセットを行っていた。その結果として、過負荷によって UI Thread の処理が一時的に停止してしまう状態にあった。センサ系の処理にも処理遅延の影響がないか確かめるためにタイムスタンプを出力させるようにしたシステムを動かす、手でカメラを隠すかたちで意図的にロストが発生させたところ、ロストが発生するタイミングの前後において周期のずれ及びばらつきが確認された。ARCore のセッションのリセットを行うに当たり、より負荷の小さい方法が存在すれば、それをを用いることで遅延の影響を最小限にとどめることができ、生じる誤差を抑えられると考えられる。また、予備実験として実験と同様な歩行を行った際、8の字の一部の角を曲がる過程で一度だけロストした例があった。ロスト発生前後のデータに恐らく前述の遅延を原因とする欠損が発生しており、ロストの詳細な原因は不明であるが、ロストが発生した例においては端末のカメラを縦向きにした状態で提案したシステムを動作させていたことで、カメラの映像の水平方向の画角が小さくなっていったことから、カメラを水平方向に回転させた際に特徴点をロストしやすい状況となっていたのではないかと推測している。

実験によって得られた軌跡が本来の経路より内回りに出た問題に関しては主となる原因を特定することができていない。また、逆周りが正周り場合よりも精度誤差が全体的に大きくなっているのは初期化の方位精度が正周りの場合よりも悪くなっていることが原因だと考えられる。VIO のスケールの推定が小さく出てしまう傾向がある場合、および初期化時の方位の誤差が大きい場合には、VSLAM から

初期位置・方位を得る過程を時間を空けて2回以上、あるいは一定周期ごとに行うことでVIO+PDRによる移動と実際の位置の変化量との対応を見て補正をかける等、VSLAMから得られる絶対位置・方位を用いる手法を利用することで改善することができるのではないかと考えられる。

6. まとめ

本紙では、視覚障害者をオペレータが誘導する上で必要となる位置情報を提供するため、利用者の位置情報を高い精度かつリアルタイムに取得する手法として、VIOを主体として自律航法で補完する手法を提案した。その結果、VIO単体でもリアルタイム性を保ちつつ歩行距離あたりの最大誤差率が2.5%程度の精度で測位が可能であることがわかった。また、VIOがロストした際のセッションの再生成時に発生する遅延によってセンサの値が正しく取得できず、自律航法による補完を行うには遅延の問題を解決する工夫が必要であることが考察よりわかった。なお、VSLAMやVIOでは、設置物や通行人等の障害物がある場合や照明等の環境条件によっては必要な特徴点が得られずにロストしてしまう場合があることが知られているが、今回の実験では、こうした障害物がない状態かつ照明等の安定した環境で実験を行っていた。結果として最後までロストすることなく測位を継続できていたが、障害物が存在する場合や季節・時間帯の違いによる日照の変化がある場合にも同様に継続的な測位が可能であるかどうか等、様々なパターンについての検証が必要である。

今後の展望としては、上述の利用環境の違いや通行人などの障害物がカメラの画角内に存在することによって生じるナビゲーションへの影響の調査と対策の検討を行う。また、スケール推定の誤差や初期方位の誤差をより小さく抑えるほか、位置推定の誤差を極力小さく抑えるアルゴリズムを検討する。そのほか、クラウド上のVSLAMによって定期的に絶対値の補正を行うことで、広域的に高精度な絶対位置に基づく測位を可能とする仕組みの検討を行う。このような課題の解決を踏まえて視覚障害者向け屋内測位の基盤を確立させるとともに視覚障害者を誘導するためのインターフェースの検討等を行い、究極には視覚障害者が自律的な移動の支援のためのインフラがない環境下にて自律的に移動することを可能とするシステムの構築の実現を目指す。

参考文献

- [1] 中込瑞大, 森信一郎. 自律航法を使った屋内ナビゲーションシステムの実装検討, 研究報告コンシューマ・デバイス&システム (CDS), 2021-CDS-30(27),1-8 (2021-01-18), 2188-8604.
- [2] 山本 晃平, 村田 将之, 佐藤 大介. 視覚障害者の移動特性を考

慮した位置推定手法, 研究報告アクセシビリティ

(AAC), 2018-AAC-7(10),1-7 (2018-08-17), 2432-2431.

- [3] 村田将之, 内藤拓也, 佐藤大介, 五十嵐雄哉, 貞清一浩, 高木啓伸. BLE ビーコンを用いた視覚障害者向け高精度屋内外ナビゲーション, 研究報告アクセシビリティ (AAC), 2016-AAC-1(3),1-8 (2016-07-22), 2432-2431.
- [4] 小木曾里樹, 吉田拓人. 屋内測位の正解値計測と評価方法の事例調査, PDR ワークショップ 2021「屋内測位と地理空間インテリジェンス」2021.9.29@オンライン.
- [5] 友納 正裕, 原 祥堯, SLAM の現状と今後の展望, システム/制御/情報, 2020, 64 巻, 2 号, p. 45-50, 公開日 2020/08/15, Online ISSN 2424-1806, Print ISSN 0916-1600, https://doi.org/10.11509/isciesci.64.2_45, https://www.jstage.jst.go.jp/article/isciesci/64/2/64_45/_article-char/ja
- [6] Yousif, K., Bab-Hadiashar, A. & Hoseinnezhad, R. An Overview to Visual Odometry and Visual SLAM: Applications to Mobile Robotics. *Intell Ind Syst* 1, 289–311 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40903-015-0032-7>
- [7] 煤孫光俊, 大瀧保明, 鈴木明宏, 佐川貢一, 石原正, 猪岡光. 移動形態と歩行速度を考慮した消費カロリーの無拘束推定, 計測自動制御学会東北支部第 202 回研究集会資料番号 202-11
- [8] “ARCore とサポートされている開発環境の概要 | Google Developers”, <https://developers.google.com/ar/develop>, (参照 2021-12-17).
- [9] Sumikura, S., Shibuya, M. and Sakurada, K. OpenVSLAM: A Versatile Visual SLAM Framework, *Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia*, ACM, 2019, pp. 2292-2295