

広視野画像と深度画像を利用した経路誘導のための性能評価

南雲 悠太[‡] 宍戸 英彦[†] 北原 格[†] 亀田 能成[†]

^{‡†}筑波大学 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [‡]s1720836@s.tsukuba.ac.jp, [†]{shishido, kitahara, kameda}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 我々は視覚障害者ナビゲーションや個人向け小型モビリティビークル自動走行に対する知的支援の研究を進めている。本研究では、予め計画された経路に沿って移動を行うために、SLAM 技術を用いることを考えている。本稿では、この目的のために Intel 社の RealSense ZR300 センサの評価を行う。OR (Object Recognition), PT (Person Tracking), SLAM という 3 種類の機能がライブラリとして提供されているので、その評価を我々が想定する状況で行った。その結果、今後我々の研究で利用できるだけの性能があることが確認できたことを報告する。

キーワード 視覚障害者, 歩行誘導, ステレオ音, 振動

Performance Evaluation for Path Navigation Based on Wide-View and Depth Image

Yuta NAGUMO[‡] Hidehiko SHISHIDO[†] Itaru KITAHARA[†] and Yoshinari KAMEDA[†]

^{‡†}University of Tsukuba 1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

E-mail: [‡]s1720836@s.tsukuba.ac.jp, [†]{shishido, kitahara, kameda}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract We are studying intelligent navigation systems using camera images for visually impaired and personal small mobility vehicles. We plan to use SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) to follow a planned route on arbitrary scenes which is common walking method for visually impaired. In this paper, we investigate SLAM navigation using Intel® RealSense ZR300 as a sensor. We evaluate the performance by conducting verification experiments using OR (Object Recognition), PT (Person Tracking), SLAM libraries which are published by Intel®, and examine the usefulness of ZR300 for our navigation purpose.

Keywords Visually Impaired, Walking Navigation, Stereo Sound, Vibration

1. はじめに

近年、小型モビリティを含む自動走行技術の開発は盛んに行われており [7]、機械および人へのナビゲーションシステムは注目度を増している。現在、屋外のナビゲーションでは GPS の高精度化のためにジャイロセンサや加速度センサを組み合わせたハイブリッド測位と呼ばれる手法が主に用いられている。一方、屋内や高層ビル街などでは GPS 信号が届かず測位が十分な精度で行えないという問題がある。GPS を用いない代表的な自己位置推定手法として、環境中に配置されたビーコンやタグから発信される電波を利用することで測位を行う手法がある [1,2]。しかし、これらの手法では利用範囲が限定されるという問題がある。

任意の経路で利用可能な位置推定手法として、センサによって計測した環境の三次元構造を比較することでマップを作成し位置推定を行う SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) がある。SLAM で使用されるセンシングデバイスに関しては様々な検討がなされており、通常の単眼カメラの他にステレオカメラ、全

方位カメラなどが用いられる [3, 4]。

本研究では、広視野カメラと深度カメラ及び RGB カメラを搭載したセンシングデバイスである Intel® RealSense ZR300 を用いた SLAM によるナビゲーションを考えている。Intel® が公開している OR (Object Recognition), PT (Person Tracking), SLAM ライブラリについて検証実験を行うことで性能を評価し、ナビゲーションシステムにおける ZR300 の有用性を検討する。

2. 関連研究

現在主流となっている SLAM アルゴリズムとして、ORB 特徴量を用いて画像から特徴点を抽出し追跡とマッピングを行う ORB-SLAM2 [5] がある。処理が高速かつロバストな特徴量である ORB を使用することによって、高い精度とリアルタイムでの動作を可能にしている。ORB-SLAM2 は単眼カメラの他にステレオカメラや RGB-D カメラに対応している。一方で、特徴点を用いずに画像の輝度情報から追跡を行うダイレクト

な手法として J. Engel ら[6]の DSO (Direct Sparse Odometry) がある。画像全体の輝度情報を直接用いるため、テクスチャの少ない状況下での堅牢性に優れる。本手法は幾何学的な精度に優れるカメラで有効であり、特徴点ベースの手法はスマートフォンや Web カメラなど低精度なカメラで有効である。

我々は、6DoF (x, y, z, yaw, pitch, roll) でのカメラ追跡と、2D での占有率マッピングを特徴とする Intel™ RealSense SLAM を採用し性能評価を行う。

3. RealSenseSLAM の評価

本節では RealSense SLAM の概要について述べ、ナビゲーションシステムにおける有用性を検討する。

3.1. 概要

ロボットやドローンの自動操縦の実現のためには、GPS が使えない場合やマップが予め与えられていない空間でも高精度に自己位置と周囲の環境を把握する必要がある。RealSense SLAM では広視野カメラと深度カメラの他にジャイロ스코ープと加速度計を使用することで、他の SLAM システムとは異なり環境情報が無い場合でも 6DoF での追跡を可能にしている。カメラ姿勢の更新は通常 30Hz で行われる。

また、深度カメラにより周辺のどの領域が障害物によって占められていて、どの領域が空いているかについての情報を示す 2D の占有率マップ (Occupancy Map) を作成することができる。例を図 1 に示す。塗りつぶされた領域は障害物がグリッドの大部分を占めていることを表し、白い領域は障害物が存在しない開けた空間であることを示している。これらの情報は自動走行を行うロボットなど、安全に進行可能な方向を検出する必要がある移動体にとって非常に有用な情報と考えられる。

3.2. ライブラリ

Intel®社は Intel® RealSense ZR300 を対象として Object Recognition, Object Localization, Object Tracking の 3つの機能からなる RealSense™ Object Library を公開している。Object Recognition によって検出された物体は、その信頼度が閾値以上であれば Object Localization の機能によって ID を付けて識別される。この際、各物体に対して RGB カメラを中心とした世界座標が与えられる。更に、Object Tracking 機能によって識別された物体を追跡することが可能である。同様に、Intel®社が公開している Person Library を用いることで人間の識別及び追跡が可能となる。これらの機能を用いることで、自動走行のナビゲーションを行う際に物体の種類に応じて異なる指示を行うことで、より高度なナビゲーションの実現が期待できる。

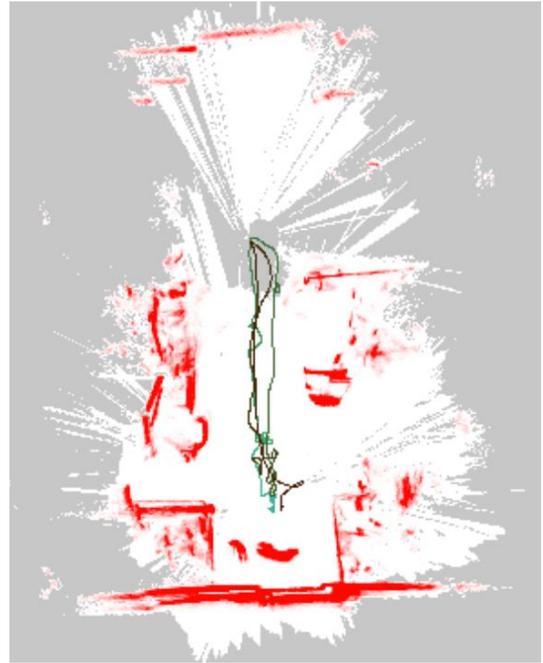


図 1 占有率マップの例(Occupancy Map)

4. 評価実験

4.1. システムハードウェア

広視野カメラと深度カメラ及び赤外線レーザープロジェクタを搭載したセンシングデバイスである Intel® RealSense ZR300 を使用する。SLAM および物体認識ソリューションはすべてデスクトップ PC (CPU: Intel Core i7 3.40GHz, メモリ: 8.0GB RAM) 上にて処理を行う。以下の実験はすべて蛍光灯の点いた明るい室内にて行った。

4.2. 障害物検出の評価

障害物が存在する空間での自動走行へのナビゲーションを想定し、進行方向に横幅 35cm×高さ 45cm×奥行き 20cm の障害物がある環境での実験を行った。ZR300 を腰の高さ (およそ 90cm) で構え、6m ほどの通路を往復するように歩行しながら撮影を行う。図 2 に実験の様子、図 3 に獲得された占有率マップを示す。白く塗りつぶされた箇所が障害物によってグリッドが占有された領域を示している。曲線はカメラ移動の軌跡であり、色が濃いほど近い過去を表している。

図 3 より、障害物の検出は正しく行われ占有率マップの描画に成功していることがわかる。占有率マップへの描画は対象の 3m ほど手前に近づいた時点から始まり、2m 手前ほどには信頼度の高いはっきりとした描画がなされていた。また、広視野カメラおよび深度カメラのフレームレートは一定して 30Hz に保たれていた。占有率マップの更新も同様に 30Hz の周期で行われた。これらの結果から人の歩行程度の速度で移動している場合、占有率マップに障害物が描画された後

に対象へのナビゲーションを行うことで十分に回避等の制御が可能であると考えられる。



図 2 実験環境

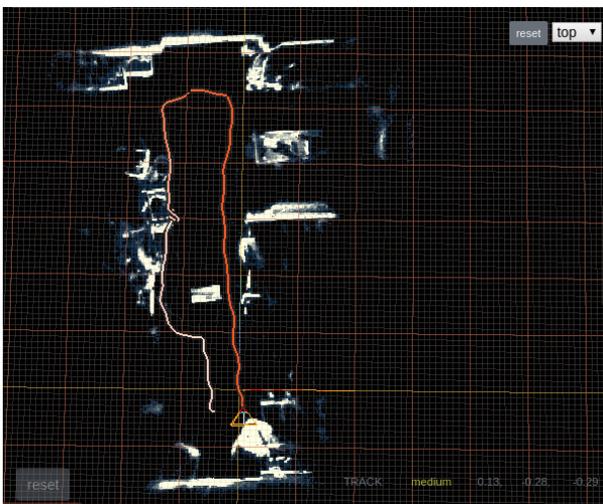


図 3 占有率マップ (往復歩行, 100cm 格子)

4.3. 小物体検出の評価

続いて、床面付近に背の低い小物体が存在する空間での自動走行へのナビゲーションを想定し、図 4 に示すように進行方向に高さ 5~20cm の 3 つの小物体を配置した環境での実験を行った。

ここでは、小物体の 3m ほど手前から周囲を見回す動作をしながらゆっくりと近づいていく歩き方をした。先の実験と同様に ZR300 を腰の高さで構えた場合に加え、腰の位置で斜め下に向けるように構えた場合と膝の高さ (およそ 50cm) で正面を向けて構えた場合についても実験を行った。また、①SLAM Library のみを使用した場合と②Object Library, Person Library を併用した場合を組み合わせ、計 6 通りのパターンで実験を行った。図 5,6,7 に結果を示す。

ZR300 を腰の高さに構えて撮影を行なった場合、占有率マップへの小物体の描画は行われず領域は空いているという誤認識をする結果になった。

図 5,6 はどちらも ZR300 を膝の高さに構えて撮影を行い、SLAM Library のみを用いて占有率マップの描画

を行なった結果である。図 5 では丸で囲った領域に設置した小物体が 3 つとも正しく描画されていることがわかる。結果から、カメラ位置を膝の高さにすることによって、床面近くの背が低い物体の検出が可能になったことがわかる。一方で、図 6 に示すように、カメラ姿勢が少しでも前に傾くなどした場合に床面を障害物と誤認識してしまい、実際には障害物の無い領域を塗りつぶしてしまうという問題も引き起こされた。

図 7 は Object Library を使用し、物体へのラベル付けと追跡を RealSense SLAM と並行して行なった結果である。SLAM のみを使用した場合と同様に占有率マップへの小物体の描画は行えていない。一方で枠線で囲った箇所から、小物体の 1 つであるペットボトルに正しいラベル付けをすることに成功していることがわかる。このように、占有率マッピングと物体認識を併用することで取りこぼしの少ないより頑健な障害物検出が可能であると期待できる。複数の Library を併用した場合でも占有率マップの更新は変わらず 30Hz であり、物体のラベル付けは 0.46Hz で更新されていた。



図 4 小物体

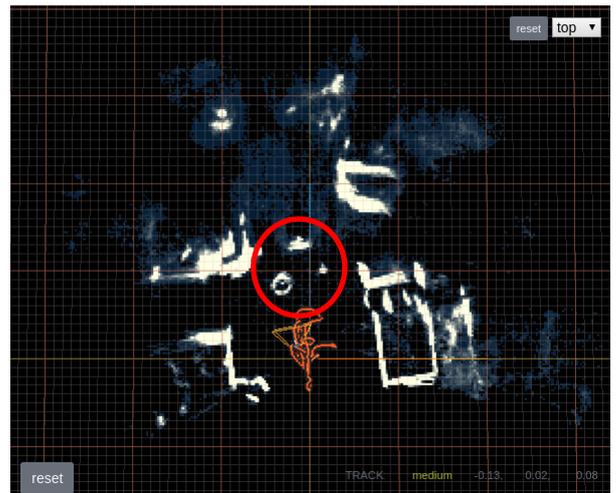


図 5 SLAM Library のみ適用 (膝の高さ)

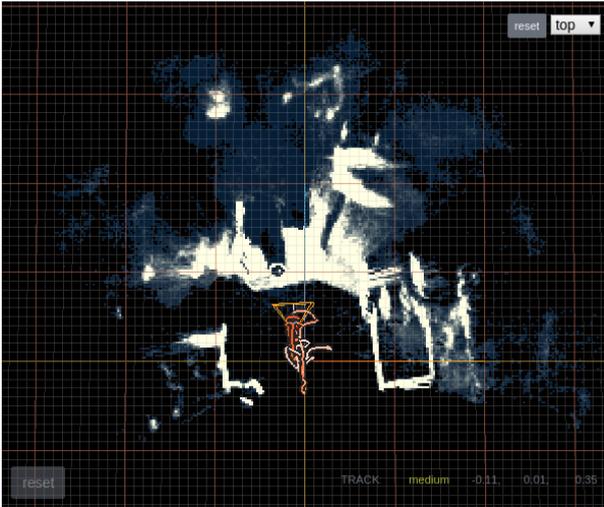


図 6 膝の高さ(失敗例)

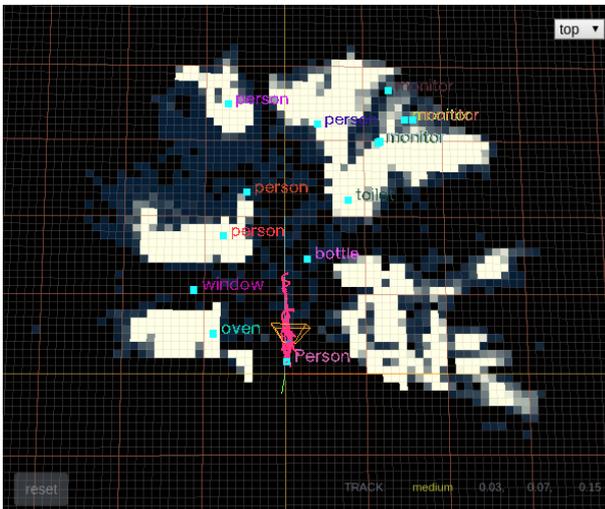


図 7 Object Library 併用(腰の高さ)

4.4. スケール精度の評価

続いて、マッピング及び自己位置推定精度の評価を行う。図 8 に示すように、室内に 3 つのカラーコーンを配置しスケール精度の評価を行う。ZR300 は腰の高さ(およそ 90cm)で構え、通路を往復するように歩行しながら撮影を行う。図 9 に物体配置の概要図を、図 10 に描画された占有率マップを示す。

図 10 に示すような占有率マップの描画を 3 回繰り返し行い、3 つのカラーコーンそれぞれについて真値との誤差の平均を算出した。縦方向は平均 9cm、横方向は平均 14cm 以内の誤差での描画に成功しており、最大の誤差はおよそ 30cm であった。

これらの結果から、歩行者が通常で歩く程度の状況でのナビゲーションや周辺安全確認のためには十分役立つ技術であると考えている。



図 8 使用するカラーコーン

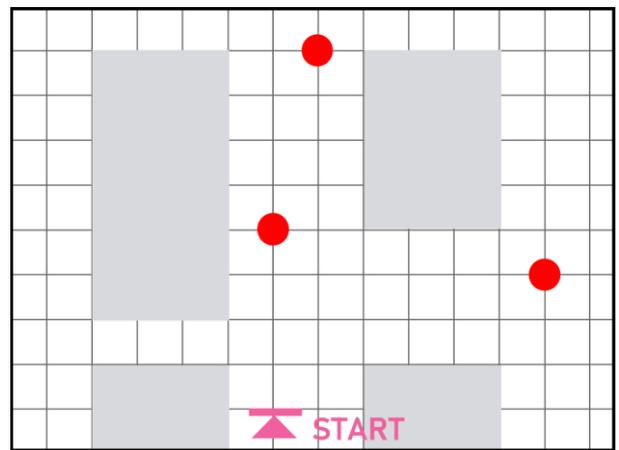


図 9 カラーコーン配置の様子 (50cm 格子)

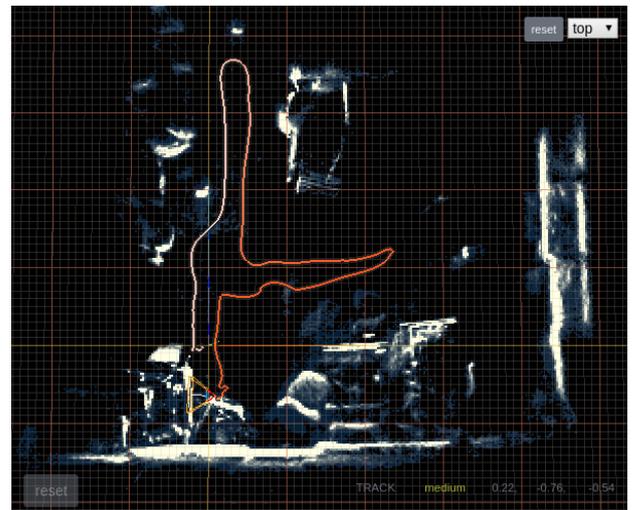


図 10 スケール精度評価

5. おわりに

本稿では、Intel® RealSense ZR300 を用いた RealSense SLAM について評価実験を行い、歩行者向けナビゲーションを想定した場合での Intel/ZR300 で利用できる SLAM および OR、PT ライブラリの有用性を示した。

今後は屋外経路や物体が移動する場合など様々な環境で検証実験を実施し、より定量的な評価を行う。また、作成された占有率マップと推定位置を元に小型モビリティの自動走行および、視覚障害者を含む歩行者へのナビゲーションシステムの構築に取り組んでいきたい。

本研究の一部は JST-RISTEX と科研費 17H01773 の助成を受けた。ここに謝意を表する。

文 献

- [1] 厚生労働省社会・援護局障害保健福祉部, “平成23年生活のしづらさなどに関する調査(全国在宅障害児・者等実態調査)結果”, 2013.
- [2] 亀田能成, 釜坂一步, 一刈良介, 蔵田武志, 石川准, “視覚障害者の移動を支援する位置提示の実証実験”, HCGシンポジウム2016, pp.343-346, 2016.
- [3] 有限会社エクストラ, “トレッカーブリーズ”, 2012, <http://www.extra.co.jp/breeze/>
- [4] 後藤浩一, 松原広, 深澤紀子, 水上直樹, “駅環境における携帯端末を用いた視覚障害者向け情報提供システム”, 情報処理学会論文誌, vol.44, no.22, pp. 3256-3268, 2003.
- [5] A. Fiannaca, I. Apostolopoulos, and E. Folmer, “Headlock: a wearable navigation aid that helps blind cane users traverse large open spaces.” Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility, pp.19-26, 2014.
- [6] D. Ahmetovic, et al. “NavCog: a navigational cognitive assistant for the blind.” Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, pp. 90-99, 2016.
- [7] 関喜一, “視覚障害者のための音による空間認知の訓練技術ーリハビリテーション現場での実用化に向けてー”, Synthesiology, vol.6, no.2, pp.66-74, 2013.
- [8] 田辺健, 矢野博明, 岩田洋夫, “振動スピーカを用いた力覚提示手法の知覚特性”, 計測自動制御学会論文集, vol.53, no.1, pp.31-40, 2017.
- [9] 渡邊淳司, 安藤英由樹, 朝原佳昭, 杉本麻樹, 前田太郎, “靴型インタフェースによる歩行ナビゲーションシステムの研究”, 情報処理学会論文誌, vol.46, no.5, pp.1354-1362, 2005.
- [10] 釜坂一步, 北原格, 亀田能成, 大田友一, “経路上の歩行者位置推定に適した事前撮影映像からのデータベース生成”, 信学技報, vol.115, no.495, pp19-24, 2016.
- [11] D. G. Lowe, “Distinctive image features from scale-invariant keypoints,” International Journal of Computer Vision, vol.60, issue.2, pp.91-110, 2004.
- [12] 釜坂一步, 北原格, 亀田能成, “撮影環境の異なる画像群間の類似画像検索による歩行者位置推定”, HCGシンポジウム2016, pp.140-146, 2016.
- [13] 小河原洗貴, 北原格, 亀田能成, “事前撮影映像に基づく視覚障害者の歩行誘導インタフェースの検討”, 信学技報, vol.117, no.252, pp.1-5, 2017.