

博物館自動デジタルアーカイブのための意味的進入不可区域の推定

大城 そら[†] 赤嶺 有平[†] 根路銘 もえ子[‡]
 琉球大学工学部[†] 沖縄国際大学経済学部[‡]

1. はじめに

博物館は、関連する法律により、収蔵品（資料）を広く国民に展示・解説することにより社会教育に寄与することが強く求められている。一方、社会のあらゆる分野において DX（デジタルトランスフォーメーション）が推進されており、博物館においてもデジタルコンテンツを用いた様々な展示の試みがなされている。

筆者らは、資料展示における DX の推進を目指して、施設内をデジタルアーカイブするための自律走行ロボットを用いた施設内の自動三次元スキャンシステムの開発を行なっている。LiDAR や深度センサを用いることで、未知の空間におけるロボットを自律走行は一般に可能であるが、博物館では展示物の安全性の観点から意味的に進入禁止を示している場所があり、それらの場所への侵入を回避する制御が求められる。本研究では、センサによる物理的な進入可否だけではなく、画像認識を用いて意味的進入禁止区域を推定し、安全に走行可能かつ施設内の 3 次元スキャンに必要な経路を推定する手法の開発を行なった。

2. 開発環境の構築

ロボット開発ではハードウェアの開発及びそれらを用いた実環境におけるテストを行う必要がある。実機・実環境によるテストは、時間コストや実務上の手続きが大きな課題となる。そのため、シミュレーション環境により開発・テストを行うことが一般的となっている。ロボットの開発・シミュレーション等を支援するためのオープンソースソフトウェアとして ROS(または ROS2) [1] がよく知られている。本研究では、当初 ROS 環境による開発を行なっていたものの、以下の理由により独自のシミュレーション環境の開発を行なった。

- 多数のバージョンが乱立しており、サードパーティとの互換性の問題
- 依存するライブラリが多い
- 公式の実行環境が特定バージョンの Linux (Ubuntu) に限定される
- ROS2 においては、Docker 等の仮想環境を用いた場合に、実機との通信に問題が発生することが多い

ROS は、ロボット開発に必要な機能を多数ブラックボックスとして提供することで開発のハードルを下げることを目的としているが、問題が発生した際に ROS そのものが原因の場合、切り分けが難しい。

そこで本研究では、マルチプラットフォームのゲームエンジンである Unity をシミュレーション環境とし、Lego Mindstorms を実機プロトタイプに利用する独自のロボット開発ライブラリを実装し利用した。ライブラリの概要を図 1 に示す。

モジュール間のメッセージ送受信は Google Protocol Buffers によりシリアル化されたデータを UDP により送信する。Firewall 等の指定を容易にするため送信先のアドレスとポートを直接指定する仕様とした。ROS 同様、通信速度を優先するため UDP を利用している。シミュレーション、実機共に同一インタフェースにより制御できる。アドレス・ポートを変えることでシミュレーション・実機を切り替える。

移動ロボットを制御するには、環境に対する自身の位置や姿勢を計測する必要がある。低コストで実現する手法として ORB SLAM3 を用いた Visual SLAM を採用した。

Unity 上では、Hinge Joint をモーターと見做してロボットモデルを構築する。UDP 通信により目標回転速度とトルクを設定できる。Unity 内のカメラから得られるカラー画像と深度画像を外部アプリケーション上でリアルタイムに取得できる。

Estimating Semantic Inaccessible Zones for Automated Digital Archiving in Museums

[†] Faculty of Engineering, University of the Ryukyus

[‡] College of Economics and Environmental Policy, Okinawa International University

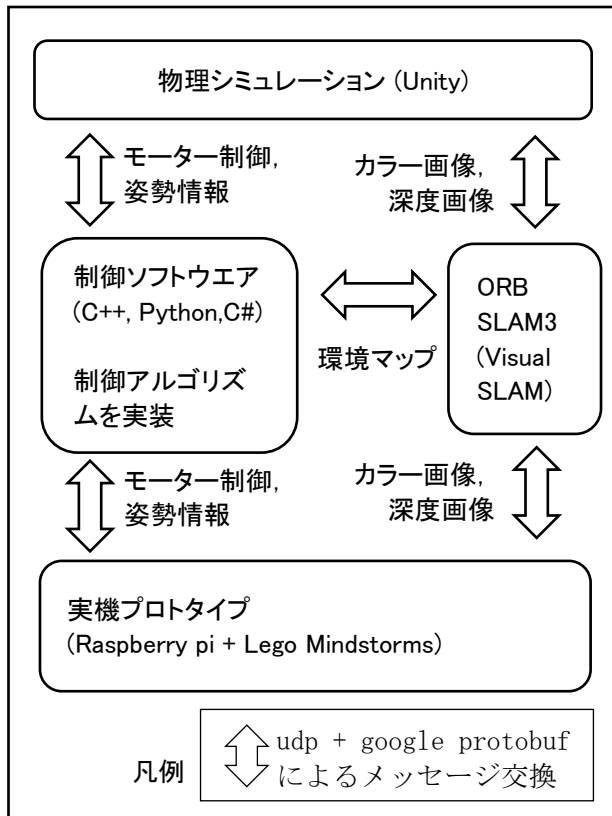


図1 ロボット開発環境の概要

3. 意味的侵入不可区域の推定

博物館等では、物理的には侵入可能であるが、実際には侵入できない、ソフトな立ち入り禁止区域が存在する。展示資料を見やすくするための工夫だが、単純に障害物をよけて走行する制御を行うと望ましくない区間にロボットが侵入してしまうことになる。意味的侵入禁止の代表的なものとして、ロープパーティションがあげられる。1m 程度の高さのバーを数 m 間隔で配置し、バーの間をロープで結んだものである（図2）。LiDAR センサのみを用いて移動制御を行うと、障害物として認識されず、ロボットが侵入してしまう可能性がある。

本研究では、深度画像と画像処理を組み合わせることでロープパーティションを認識し、侵入を回避するアルゴリズムを開発している。現時点では、床面から高さ 1.5m 以下になんらかの物体を検出した場合、侵入禁止と判断している。さらに、画像処理によりロープの存在を認識した場合にロボットの減速制御を行う。ロープの認識には、深層学習モデルの一種である Semantic Segmentation を用いた。同手法によるロープパーティションの検出結果を図3に示す。



図2 ロープパーティションの例

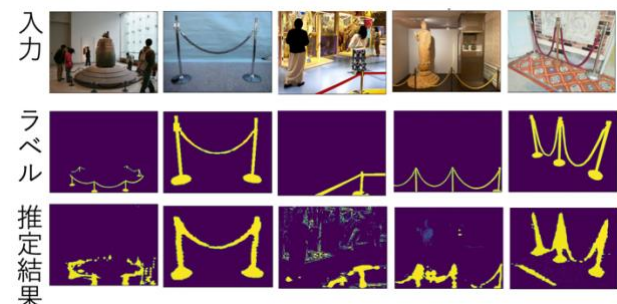


図3 パーティションロープの推定結果

4. 未知環境における環境マップの取得

アルゴリズムを以下に示す

1. 空間を $x \text{ m}^2$ のセルに分割する
2. 深度画像から最短距離の障害物への距離 o を得る
3. 安全マージン $y \text{ (m}^2\text{)} < o$ の場合、前進する
4. 障害物が見つかったセルをマーク
5. 隣接セルに未測定セルが存在し、かつ到達可能なセルへ移動する
6. 到達可能なセルが存在しない場合、終了

5. おわりに

本稿では、博物館等を自動でデジタルアーカイブ（3次元スキャン）するためのロボット開発について、独自開発したシミュレーション環境および、同課題の特徴である意味的侵入区域の回避手法について述べた。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP22K01014 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Stanford Artificial Intelligence Laboratory et al., *Robotic Operating System*, 2018, Available at: <https://www.ros.org>.
- [2] Campos, Carlos AND Elvira, Richard AND Gómez, Juan J. AND Montiel, Jos'e M. M. AND Tard'os, Juan D., An Accurate Open-Source Library for Visual, Visual-Inertial and Multi-Map, *IEEE Transactions on Robotics*, vol.37, No.6, 1874-1890, 2021