

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21802

研究課題名（和文）ガラス存在環境におけるSLAM

研究課題名（英文）SLAM in Environment with Glass

研究代表者

山下 淳（Yamashita, Atsushi）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・准教授

研究者番号：30334957

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：透明物体が存在する環境において、移動ロボットによって自己位置推定と地図生成を行うSLAM（Simultaneous Localization and Mapping）の新手法を提案した。従来のSLAMでは廊下の壁などの非透明物体のみの地図しか作成することができず、窓ガラスや自動ドアなどのような透明物体が存在する環境では透明物体が生成した地図から抜け落ち、その結果として移動ロボットの自己位置推定精度の低下をも招くことが未解決問題として残されていた。本研究では、レーザレンジファインダ（LRF）を搭載した移動ロボットによって自己位置推定と環境地図生成を同時に行う新規なSLAM手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボット分野において透明物体存在環境におけるSLAMは未解決問題である。一般的な環境では窓ガラスや自動ドアなどの透明物体が存在しており、従来のSLAM技術では地図生成や自己位置推定に失敗することが問題であった。本研究でこの問題に正面から取り組むことによって、移動ロボットの活用範囲を大幅に拡大させることが可能となった。また本研究は、障害物と移動ロボットの位置という幾何学的な情報と、障害物の表面の反射特性という物理的な特性の両者を、汎用LRFのみを用いてリアルタイムにセンシングするという斬新な枠組みを新規に提案するものであり、学術的な新規性と理論的な発展が大きい。

研究成果の概要（英文）：This study proposes a new Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) method in environment with glass. Accurate localization and mapping are essential for mobile robots. Using laser rangefinders (LRFs), current state-of-the-art indoor SLAM can provide accurate real-time localization and mapping in most environments. An exemption are those where glass is predominant, as LRFs can not properly detect glass due to glass' transparency and reflectiveness. With such buildings becoming more common, this has become an important issue to address. Failure to detect glass causes two problems for SLAM: incorrectly mapping glass as open space; and, lower localization accuracy due to mismatches between measured and expected range data. This study proposes a glass confidence map that correctly maps glass as occupied, as well as the probability of an object to be glass/non-glass.

研究分野：ロボット工学

キーワード：SLAM 地図生成 自己位置推定 透明物体 ガラス

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

移動ロボットによって自己位置推定と地図生成を行う手法は SLAM ( Simultaneous Localization and Mapping ) と呼ばれ、数多くの手法が提案されている。しかし、従来の SLAM では廊下の壁などの非透明物体のみの地図しか作成することができず、窓ガラスや自動ドアなどのような透明物体が存在する環境 ( 図 1 ) では透明物体が生成した地図から抜け落ち、その結果として移動ロボットの自己位置推定精度の低下をも招くことが未解決問題として残されている。

ロボット分野においては、画像を取得可能なカメラや、障害物までの距離を計測可能なレーザレンジファインダ ( LRF ) と呼ばれるセンサを用いて、自己位置推定や地図生成を行うことが多い。これらのセンサは光を使ったセンシングを行うため、光が透過してしまう透明物体を検知することができないと一般には考えられており、透明物体存在環境における SLAM は未解決問題であった。その結果、透明なガラスが存在する場所を何も無い場所としてロボットが認識し、ガラスにロボットが衝突することが大きな問題であった。

### 2. 研究の目的

本研究では、ガラスのような透明物体が存在する環境において、LRF を搭載した移動ロボット ( 図 2 ) によって自己位置推定と環境地図生成を同時に行う新規な SLAM 手法を構築することを目的とする。

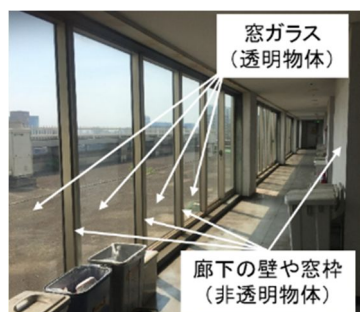


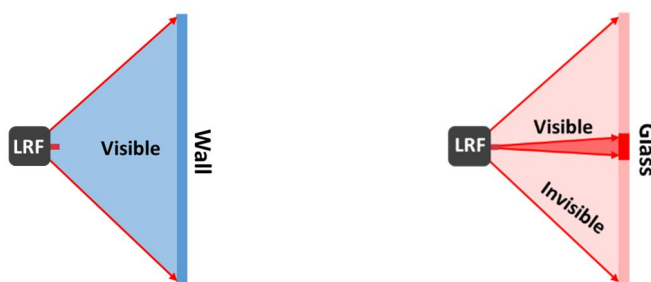
図 1 ガラスが存在する環境の例



図 2 LRF 搭載移動ロボット

### 3. 研究の方法

非透明物体はどの方向から見ても同じように見えるが ( 図 3(a) ), 透明物体は特定の方向から照射した光線のみを強く反射する ( 図 3(b) ). この物理的性質を考慮して、LRF を用いて透明物体を検出可能な新規なセンシング手法を新規に構築する。更に、提案した手法により環境地図を高精度に生成し、その結果を用いてロボットの自己位置推定をロバストかつ高精度に行う新規 SLAM 手法を構築する。最終的に、実機ロボットを用いて提案手法の有効性を示す。



(a) 非透明物体 (b) 透明物体  
図 3 LRF を用いた非透明物体と透明物体のセンシングの違い

透明物体は特定の方向から照射した光線のみを強く反射することは、特定の方向からは透明物体を検出できる可能性があることを示唆している。しかし、反射方向が極めて限定的で狭い範囲であるため、従来研究では強い反射光をノイズや外れ値として除去していた。本研究の新規なアイデアは、ロボットが移動しながら観測した際、ある場所に注目し続けると、非透明物体からの反射光は変化しないことに対して、透明物体からの反射光は変化し、かつその変化は物理法則に基づいたためモデル化できる点に注目することにある ( 図 4 )。具体的には、反射光の飛行距離・入射角度・反射強度を用いて、透明物体表面における反射の定式化を行い、定式化の結果を用いて透明物体と非透明物体の分離を行った上で環境地図生成を行う。その結果を用いて、よりロバ

ストなロボットの自己位置推定を行う枠組みを新規に構築する。

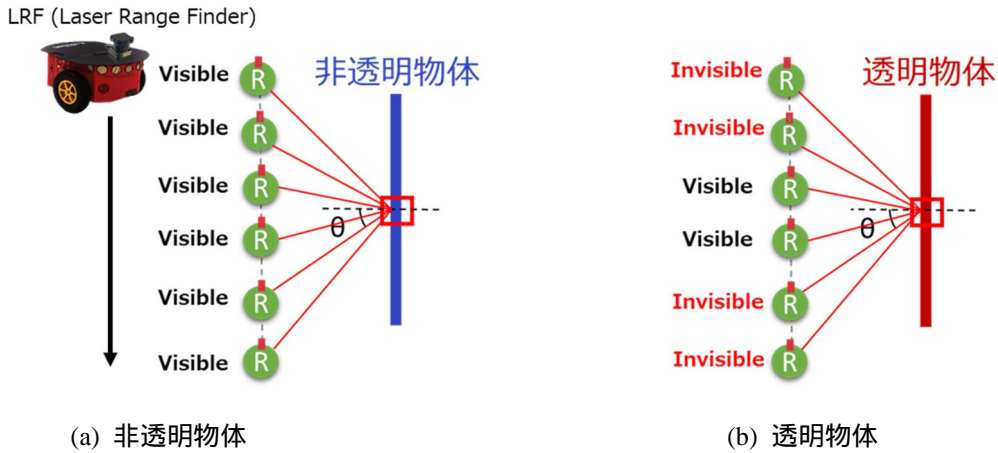


図4 LRF 搭載移動ロボットによる非透明物体と透明物体のセンシングの違い

#### 4. 研究成果

実機実験により提案手法の有効性の検証を行った。

LRF を用いて非透明物体と透明物体をセンシングした結果の例を図5に示す。図5は、非透明物体と透明物体それぞれについて、LRF で取得した距離・反射強度・物体への入射角を軸としてプロットした結果であり、非透明物体と透明物体は異なった性質の結果が得られていることが分かる。

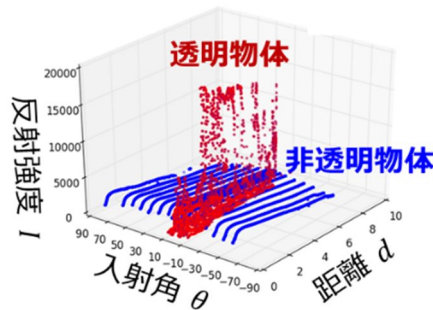


図5 LRF を用いて非透明物体と透明物体を計測した結果

図5で得られた知見をもとに、LRFでセンシングした物体が非透明物体と透明物体のどちらであるのかを判定する手法を構築した。更に、ガラスが存在する環境においてLRF搭載移動ロボットを走行させ、自己位置推定と地図生成を行った(図6)。図6では、非透明物体に加えて、透明物体も適切に地図に含まれていることが確認できる。

以上、本研究では、透明物体が存在する環境において、LRFを搭載した移動ロボットによって自己位置推定と環境地図生成を同時に行う新規なSLAM手法を構築し、その有効性を確認した。

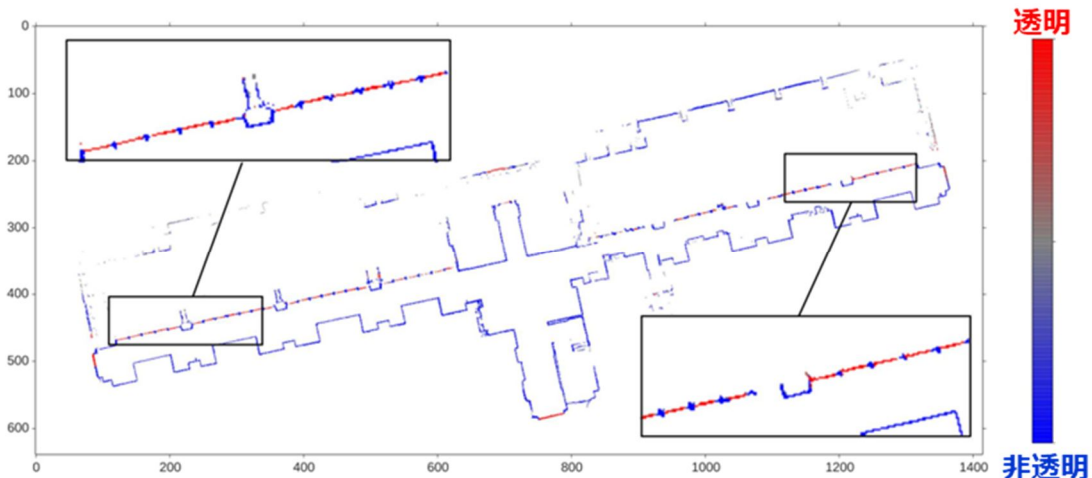


図6 透明物体を含む地図の生成結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Jun Jiang, Renato Miyagusuku, Atsushi Yamashita and Hajime Asama	4. 巻 Vol. 34, No. 23
2. 論文標題 Online glass confidence map building using laser rangefinder for mobile robots	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 1506 ~ 1521
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/01691864.2020.1819873	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山口 恵璃, 樋口 寛, 山下 淳, 浅間 一	4. 巻 Vol. 87, No. 1
2. 論文標題 偏光カメラの偏光度とLRFの距離情報を用いたガラス環境対応SLAM	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 精密工学会誌	6. 最初と最後の頁 114 ~ 119
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2493/jjspe.87.114	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Eri Yamaguchi, Hiroshi Higuchi, Atsushi Yamashita and Hajime Asama	4. 巻 -
2. 論文標題 Glass Detection Using Polarization Camera and LRF for SLAM in Environment with Glass	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2020 21st International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM2020)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/REM49740.2020.9313933	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山口 恵璃, 樋口 寛, 山下 淳, 浅間 一
2. 発表標題 ガラス環境のSLAMにおける偏光カメラとLRFを用いたガラス検出
3. 学会等名 精密工学会画像応用技術専門委員会研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口 恵璃, 樋口 寛, 山下 淳, 浅間 一
2. 発表標題 偏光カメラとLRFを用いたガラス環境対応SLAM
3. 学会等名 動的画像処理実利用化ワークショップ2022
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	浅間 一  (Asama Hajime)  (50184156)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授   (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------