

RGB-D SLAMにおける鏡とガラスのマッピング手法

Mapping of mirror and transparent plate in RGB-D SLAM

青木系展¹
Toshinobu Aoki

柳澤政生¹
Masao Yanagisawa

早稲田大学基幹理工学研究科¹
Graduate School of Fundamental Science and Engineering, Waseda University

1 はじめに

RGB-D SLAMはRGBカメラとDepthセンサを用いたVisual SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)の一種であり、Depthセンサからの情報を用いてRGB画像による二次元特徴点に三次元空間座標を付与することが特徴である。したがって鏡や透明物体などの二次元特徴点を得られない物体に対しては三次元空間座標を付与することが出来ない。また、赤外線を使用した測距センサにおいても表面での拡散反射が得られず測定が出来ない。したがって、透明物体は無視され鏡であれば鏡の裏側に鏡の世界がマッピングされる。なお、ここで言う透明物体とは光の波長の大きさ以上に均一であり、少なくともある波長での光の吸収率が0に近いという条件を満たす物体を指す。[1]本稿では鏡及び透明板をLEDの鏡面反射を用いてRGB-D SLAMにおいてマッピングする手法を提案する。

2 提案手法

提案手法は対象物体の検知、カメラ中心からの距離及び傾きの計算、鏡であるか透明板であるかの判別、マッピングの4段階で構成される。まず、赤外線測距センサでは検知されずに超音波測距センサでは検知される物体がある場合に測定対象物体として検知する。次に機器に取り付けた4個のLED光の鏡面反射をRGBカメラで捉えることによって、RGB画像内に写っている鏡像のカメラ中心位置を推定し、カメラに対する鏡面の傾きを推定する。このとき鏡像のLEDの位置は、各LEDの鏡面反射光の中心位置をRGB画像に写るLED鏡面反射光の高輝度領域の重心を用いることで推定しており、LEDの取り付け位置とカメラ中心の位置関係から鏡像のカメラ中心位置を推定している。その後、鏡面の傾きとRGB画像中の各LED鏡面反射光の位置を用いて鏡面までの距離の測定を行う。またRGB画像中に写るLEDの鏡面反射部分の周囲の色を比較することによって、鏡であるか透明板であるかの判別を行う。これには鏡がガラスよりも拡散反射する[3]ことを利用している。最後に使用するSLAMのプログラムに準拠して測定で得られた位置にマッピングを行う。ただし、ここまでの段階でLEDの鏡面反射光が正しく判別出来ない場合、推定された距離が超音波センサで得られた測定対象物体までの距離と大きく異なっていた場合は測定が失敗したものとしてマッピングは行われぬ。

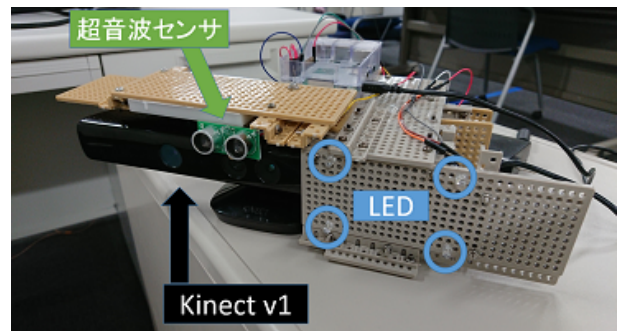


図1 実験に用いた機器。



図2 実験に用いた環境。

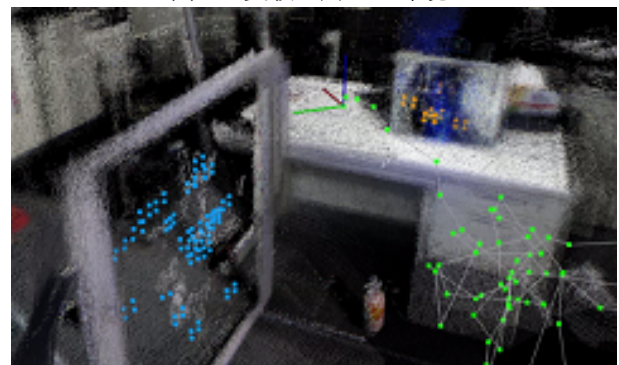


図3 結果のマップ。

3 実験と評価

実験ではまずロボットに搭載しない状態で、図1にある機器を使用しマッピングを実行した他、距離推定の精度評価実験を行った。次に図7のようにロボット(kobuki)に搭載した状態で自律移動を行った。

1つ目の実験ではRGB-D SLAMの一種であるRTAB-MAP[2]を用い、図1にある機器を使用して行った。図2にある環境においてマッピングを行った結果を図3及び図4に示す。図2において画像左側にある大きな枠

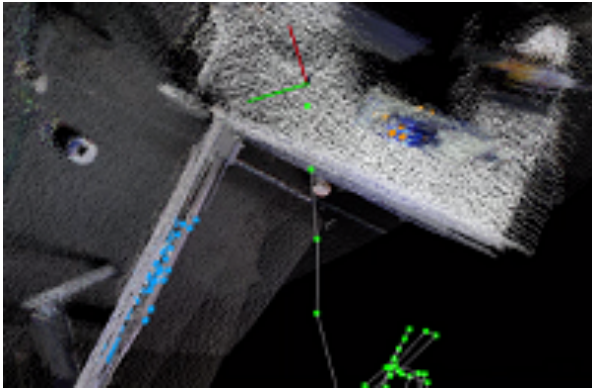


図4 上から見たマップ。

内にガラスがあり、白い机の上に鏡が立てかけてある。図3及び図4においては水色のボクセルがガラスを、オレンジのボクセルが鏡をマッピングした結果である。また、黄緑のボクセルと線はカメラ中心の軌跡である。

また、推定距離の評価として正面から100mm毎に距離推定を行った結果が図5及び図6である。なお最大誤差の理論値は、1画素分だけLED推定位置が誤った場合の距離推定誤差を高輝度領域の面積で割った商と定めた。実験の結果、1500mm以降誤差が大幅に大きくなっているが、これよりも距離が遠くなると、鏡像のLED位置の推定に用いる高輝度領域の画素数の減少による推定精度の低下、及びLED間の画素長の変化率の低下による鏡面までの距離の推定精度の低下によって、鏡面までの精密な距離推定は難しくなったと考えられる。また、高輝度領域の画素数の低下によって画像ノイズの影響を受けやすくなり、鏡像のLED位置の推定誤差が大きくなりやすいため、ノイズの生じやすい鏡に対しての距離推定では理論値よりも大きく誤差が生じた。

2つ目の実験ではガラスを設置した室内でロボットを走行させ、マップを生成しつつガラスに衝突しないように自律移動を行った。ロボットはマップを所持していない状態で移動しマップを作成する。自律移動の方法は前方に障害物が存在しない限り前進し続ける単純なものであり、前方に障害物が存在した場合は、前進しても衝突しなくなるまで左回転して再び前進する。この実験においても手法は適用でき、前方の鏡面に衝突しないように測定で得られた角度だけ左回転することで鏡面への衝突を回避した。

4 まとめ

本稿ではRGB-D SLAMにおいて鏡と透明板のマッピングを行う手法を紹介した。本手法では対象から170cmまでの範囲であれば測定誤差が10cm以内であり、室内向けロボットが鏡及びガラスを回避するのに十分な精度が発揮できる。また、100cmまで近づけば誤差は2cm以内となり精密なマッピングが可能である。

参考文献

[1] D. G. Holloway, “ガラスの物理,” 共立出版, 1977.
 [2] M. Labbe and F. Michaud, “Online global loop closure detection for large-scale multi-session

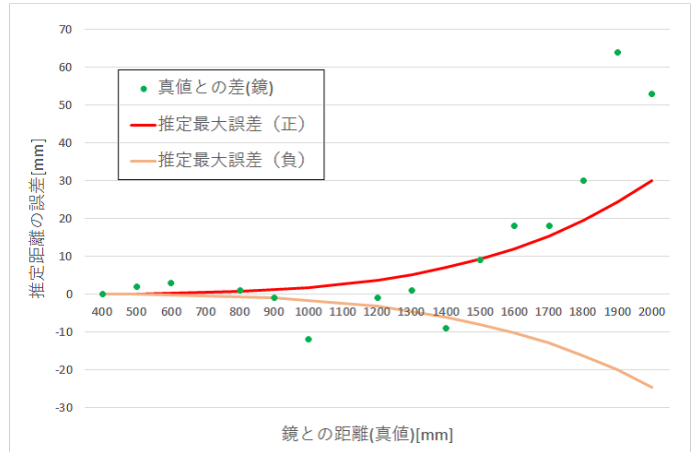


図5 距離推定精度 (ガラス)。

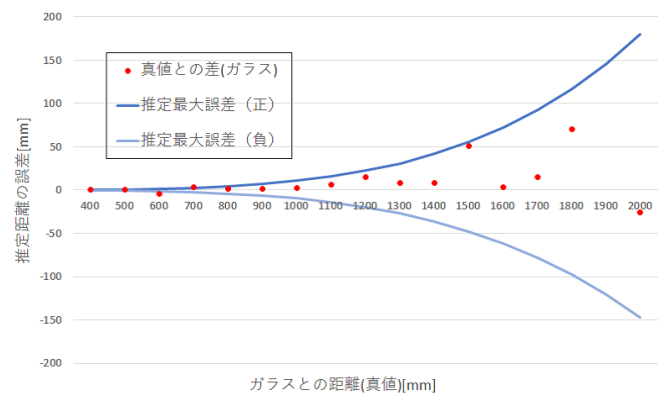


図6 距離推定精度 (鏡)。

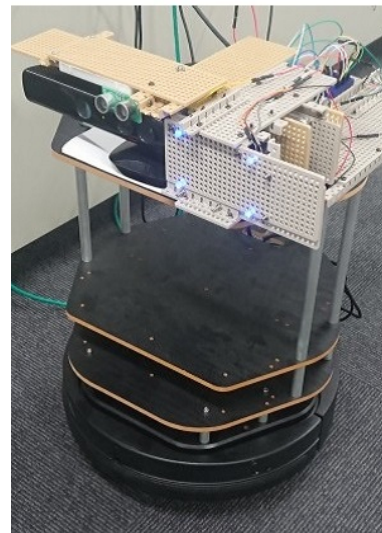


図7 製作した機体。

graph-based SLAM,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1–6, 2014.

[3] X. Wang and J. Wang, “Detecting glass in simultaneous localisation and mapping,” Robotics and Autonomous Systems, vol. 88, pp. 97–103, 2017.