

3-1 見え情報に基づく位置推定と3次元距離センサによる走行可能領域検出を用いた屋外移動ロボットの誘導 [井上 2016, Inoue 2016]

屋外移動ロボットの誘導には自己位置推定が必要である。屋外では GPS 等の利用が一般的であるが、高い建物の近くでは精度が低下する。そこで、本研究では見えに基づく位置推定手法を利用する。また、安全に移動するためにはロボット周囲の地図（局所地図）を生成し、安全な軌道を生成しなければならない。本節では、それらを組み合わせて、誘導したい経路上を移動しながら撮像した画像系列を与えるだけで、ロボットのその経路に沿って誘導できるシステムについて述べる。

見えに基づく位置推定手法は、SeqSLAM [Milford 2012] をベースとしていくつかの改良を加えたものを用いる。SeqSLAM は正規化した画像系列間の比較を行うことにより、簡便な計算にもかかわらずシーンの環境変化に対してロバストな推定を実現している。本研究では、(1)正規化した輝度値の代わりに HOG 特徴量を用いる、(2)広視野のカメラを利用してロボットの向きの変動に対応する、(3)ロボットの速度変化を想定した画像系列マッチングを行う、および(4)確率的位置推定（マルコフ位置推定）を導入して位置推定の信頼度と効率を向上する、という改良を行った。

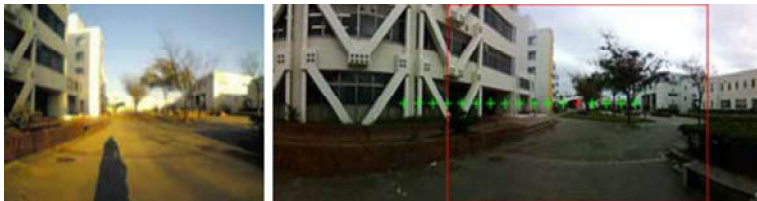


図 3-1-1 見えに基づく位置推定の例

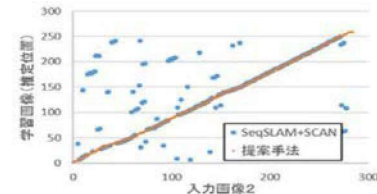


図 3-1-2 SeqSLAM と提案手法の比較

図 3-1-1 に位置推定の例を示す。右が入力画像、左が事前に取得した画像のうち、入力画像を撮像した位置と同じ位置から撮像したものと判断されたものである。右の赤枠は左の画像と最もよく照合した画像上の位置を表し、ロボットの移動方向を与えるものとなる。図 3-1-2 は SeqSLAM との位置推定精度の比較結果である。縦軸は事前に学習した画像系列の ID を、横軸は入力画像系列の ID を示す。SeqSLAM では誤対応が多くのある所で生じているが、提案手法では正しい照合が行われている。

走行可能領域の検出には3次元距離センサを用いる。路面の傾きや凹凸によってロボットの姿勢が必ずしも水平にはならないので、地面平面を推定・除去した後で障害物を検出し、局所地図を生成し走行可能領域を検出する。図 3-1-3 に検出の様子を示す。障害物、段差は白色、走行可能領域は黒色、未観測領域を灰色で示している。次に、走行可能領域と未観測領域の境界上の点のうち、位置推定から得られたロボットの進路方向に近い点を局所目標地点として、そこへ向かう経路を生成する。



図 3-1-3 走行可能領域の検出と軌道計画

[井上 2016] 井上陽平, 三浦純, 大石修士, “見えに基づく位置推定と3次元距離センサによる走行可能領域検出を用いた屋外移動ロボットの誘導”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 横浜, 2016 年 6 月.

[Inoue 2016] Y. Inoue, J. Miura, and S. Oishi, “Outdoor Robot Navigation Based on View-based Global Localization and Local Navigation,” Proc. IAS-14, 2016.

[Milford 2012] M.J. Milford and G.F. Wyeth, “SeqSLAM: Visual Route Based Navigation for Sunny Summer Day and Winter Stormy Nights,” Proc. ICRA-2012, 2012.

3-2 3次元地図と2次元距離センサを用いたオンライン屋外位置推定 [酒井 2017]

前項で述べた見えに基づく位置推定では、照明条件等の変化による見えの変化にロバストな画像照合法を用いて位置推定を実現していた。本項では画像に頼らず、距離データのみを用いて位置推定を行う手法について述べる。提案手法では、あらかじめ作成した3次元地図を用い、現在の2次元距離データとの照合に基づき位置を推定する。3次元距離データを入力として位置推定する手法があるが、2次元距離データを用いることにより、安価かつ高速なシステムが実現可能である。

3次元地図は3つのステップで生成する。第1ステップでは移動しながら3次元点群データを取得し、データ取得地点間の相対移動量をNDT [Magnusson 2007] を利用して計算し、ポーズグラフを生成する。第2ステップではGPSデータ(利用可能な場所のみ)および点群データの特徴からループクロージャ候補を検出し、候補間でNDTマッチングを行って適切と判断されたループクロージャをポーズグラフに追加する。第3ステップではポーズグラフ最適化により、各観測位置姿勢を修正し、それを基に3次元点群地図を生成する。図3-2-1に生成した3次元地図の例を示す。

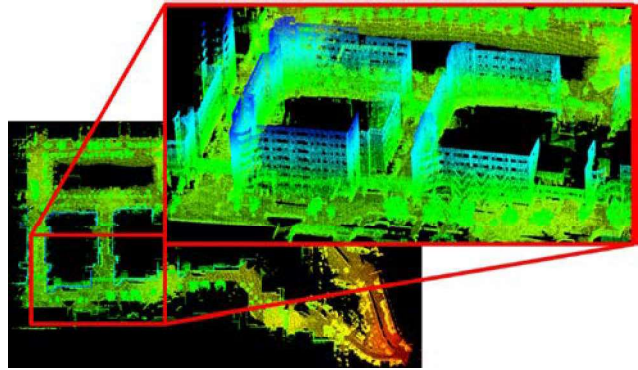


図 3-2-1 生成した3次元地図の例

位置推定は、3次元地図をNDT変換し、それに対し取得した2次元距離データを照合させることにより行う。照合の不確かさに対処し、また移動の履歴情報を利用するため Unscented Kalman filter (UKF)を用いてロボットの6自由度の位置姿勢を推定する。図3-2-2に位置推定の例を示す。左は3次元距離センサHDL-32e (Velodyne社製)を用いて作成した3次元地図、右は2次元距離センサLMS-151 (SICK社製)を用いて取得した2次元データ(赤い点)と3次元地図を照合した結果(白い球)である。2次元距離データの取得から位置姿勢推定まで70ms以内で計算できているため、オンライン推定の位置推定が可能である。

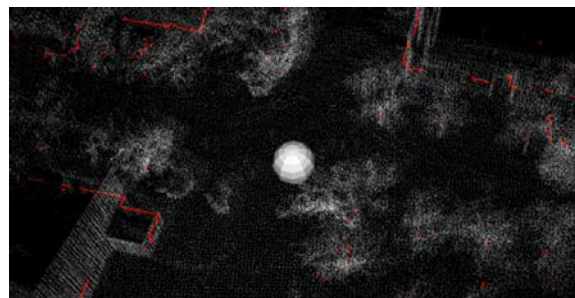
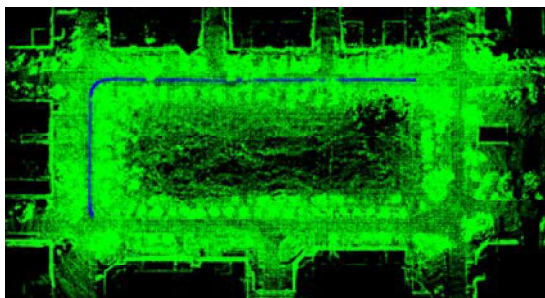


図 3-2-2 3次元地図と2次元距離データによる位置推定の例

入力として3次元距離データを用いた場合を真値として、そこからのずれを精度とみなして評価した。2次元距離センサの測距範囲をいくつかの値に制限した上で精度を検証したところ、30m以上の測距範囲があれば、水平位置の誤差が10cm強程度、垂直軸周りの姿勢(ヨー角)の誤差が0.3°程度となった。2次元距離データを用いても建物の壁などの特徴的な形状が観測できれば3次元距離データを利用した場合と同等の推定精度が得られることがわかった。

[酒井 2017] 酒井貴大, 小出健司, 三浦純, 大石修士, "3次元地図と2次元距離データを用いた移動ロボットのオンライン位置推定", 第22回ロボティクス・シンポジウム, 2017年3月.

[Magnusson 2007] M. Magnusson, A. Lilienthal, and T. Duckett, "Scan Registration for Autonomous Mining Vehicles using 3D NDT," J. of Field Robotics, 24(10), pp. 803-827, 2007.