

屋内位置推定に向けた環境の変化に対応した3次元マップ構築

兼子 朋也[†] 高橋 和太郎[‡] 高橋 淳二[§] 戸辺義人[‡]

青山学院大学大学院理工学研究科理工学専攻知能情報コース[†]

青山学院大学工学部情報テクノロジー学科[‡]

鹿児島大学理工学研究科機械工学専攻[§]

1. はじめに

屋内環境において智能ロボットが自由に移動するためには、正確な自己位置推定が重要な課題である。これに対し、屋内環境の事前マップを用いることで、推定精度が高く計算負荷が少ない技術を達成することができる。しかし、事前マップは時間不変なランドマークで構成されているために環境の変化に対応することができず、長期運用に向かないという問題がある。そこで、我々は事前マップに新たなランドマークを追加することで時間不変なランドマークと時間可変なランドマークが混在したマップ構築を行うシステムを提案する。本手法では、マップのランドマークとして線分を用いて、壁や床などの時間不変な線分で構成されている3次元マップにポスターや家具などの一定期間利用できる時間可変線分を追加する。

2. 関連研究

Krajn'ikらは、レーザ測距計を使用して、キャビネットの開・閉などの環境変化を検出してマップの更新を行なった¹⁾。Tanakaは、ローカルマップを作成後にローカルマップとグローバルマップのマップマッチングにより、位置推定を行い、環境に変化があった場合にはグローバルマップの更新を行なった²⁾。しかしながら、両者は共通して、高価なセンサを使用することや、演算コストが大きいこと、マップ構築や位置推定が2次元に限定されていることが課題となった。

3. システムの設計

本システムでは、線分を壁や床などの構造物による時間不変な線分である Structure Edge (SEdge) とポスターの枠線などの時間可変な線分である Color Edge (CEdge) の2種類に区別する(図1)。

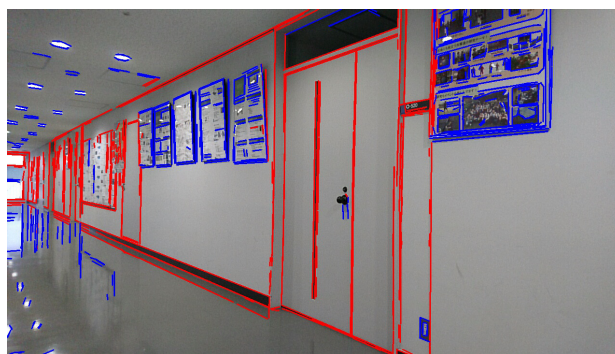


図1 SEdge(赤)とCEdge(青)

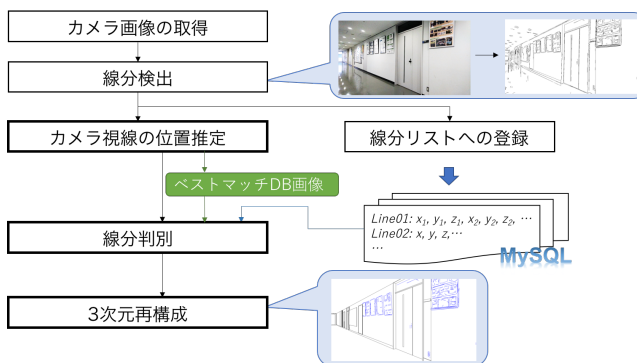


図2 システムのフロー

SEdgeで構成する3次元マップを事前に作成し、カメラ画像から得られたCEdgeをマップに追加することで3次元マップの構築を行う。図2にシステムのフローを示す。その主要な構成要素は、(1)カメラ視線の位置推定、(2)線分判別、(3)3次元再構成の3つである。

(1) カメラ視線の位置推定

まず、3次元マップから様々な任意視点で撮影した画像群を作成し、任意視点DBとして保持する。その後、取得カメラ画像から生成した入力線分画像と各任意視点DB画像との線分のピクセルの論理積を取ることで、論理積画像を作成する。

任意視点DB画像群のインデクスを i 、各任意視点DB画像のピクセル数を A_{ic}^i 、論理積画像のピクセル数を A_{ab}^i として、マッチング率 m^i およびベストマッチDB画像のインデクス i_b を以下のように定義する。

Building a 3D Map adaptive to Changes in the Environment for Indoor Localization

^{†‡} Tomoya KANEKO, Wataro TAKAHASHI, Yoshito Tobe / Aoyama Gakuin University

[§] Junji TAKAHASHI / Kagoshima University

This research is supported by KAKENHI No.16K21339.



図3 評価実験の様子

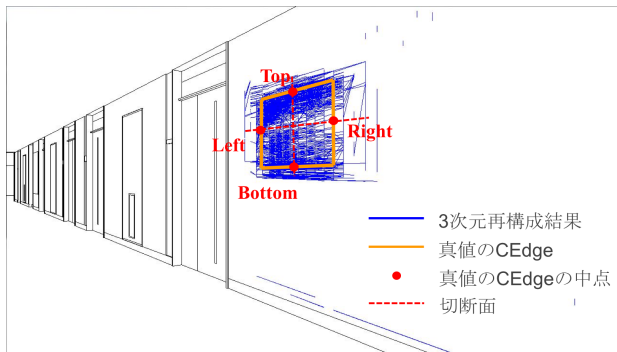


図4 3次元再構成結果

$$i_b = \arg \max_i m^i, m^i = A_{ic}^i / A_{db}^i \quad (1)$$

式(1)により、ベストマッチ DB 画像としてマッチング率が最大である任意視点 DB 画像を選択し、選択された画像に結び付けられている位置姿勢がカメラ視線の位置姿勢として推定する。

(2) 線分判別

線分を SEdge と CEdge に判別を行う。SEdge の判別は、入力線分画像とベストマッチ DB 画像の論理積の抽出を行うマスク処理をすることで、SEdge の候補線分を取得する。CEdge の判別は、入力線分画像におけるベストマッチ DB 画像の相対補の抽出を行うマスク処理をすることで、CEdge の候補線分を取得する。その後、SEdge、CEdge 候補線分と線分リストの線分との比較を行う。線分の比較では、傾きと線分を構成する端点である2点の座標の差が小さい線分をそれぞれ SEdge と CEdge として確定する。

(3) 3次元再構成

CEdge と推定された2次元の線分を3次元化し、3次元マップに追加する。

カメラ視点の位置姿勢に関する行列を M_v 、焦点距離に関する行列を P 、画像サイズに関する行列を U 、カメラ画像座標系上のピクセルの座標を $P_w = (x_w, y_w, z_w)^T$ として、3次元マップ座標系

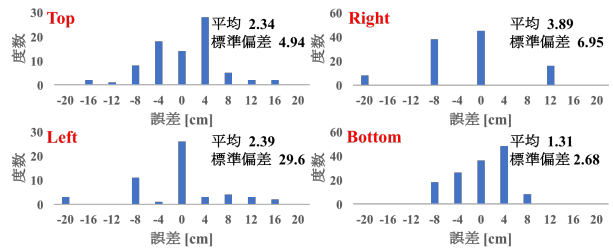


図5 再構成線分の分布

における点の座標 $P_g = (x_g, y_g, z_g)^T$ を以下のよう求める。

$$P_g = (U \cdot P \cdot M_v)^{-1} P_w \quad (2)$$

式(2)により、CEdge と推定された線分の端点である2次元座標の透視投影の逆変換を行う。しかし、この変換ではカメラから対象物までの奥行き情報が不足し、線分を3次元化すると投影線となる。そこで、視点と画像ピクセル上の点を結んだ投影線が初めに交わる平面がそのピクセルの3次元マップ上での位置であるという仮定を設けることで、不足している奥行き情報の補完を行い、3次元再構成を行う。

4. 評価実験

入力カメラ画像の撮影には、Xperia を利用し、横 90cm、縦 60cm のポスターを対象として、CEdge が写るように様々な角度から計 50 枚の画像を撮影した(図3)。

図4は、50枚の画像から得られた CEdge すべての3次元再構成結果である。真値の CEdge の各中点に切断面を定義することで、この切断面に置ける再構成線分の分布を求める。各切断面を上の切断面から逆時計回りに Top, Left, Bottom, Right と定義し、評価を行なった(図5)。各切断面における真値との誤差の平均は 2.48cm となった。

5. まとめ

屋内環境の変化に対応した3次元マップ構築システムを提案した。評価実験によって、3次元再構成の平均誤差は 2.48cm となり有効性を確認した。今後は、CEdge の追加を統計的に定式化することを目指す。

参考文献

- 1) T. Krajn'ik, J. P. Fentanes, O. M. Mozos, T. Duckett, "Persistent Localization and Life-long Mapping in Changing Environments using the Frequency Map Enhancement", *IROS*, (2016)
- 2) K. Tanaka, "Local Map Descriptor for Compressive Change Retrieval", *IROS*, (2016)