

線分情報に基づく位置姿勢推定と3次元マップの更新

兼子 朋也[†] 高橋 淳二[†] 花見 唯[†] 徳永 悠希[†] 戸辺 義人[†]青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科[†]

1. はじめに

正確な自己位置推定は重要な課題である。広く行われている位置推定の研究にSLAM(Simultaneous Localization and Mapping)がある。SLAMは自己位置推定と地図構築を同時に行うが、移動とともに2つの計算誤差が互いに増大し続けるといった問題がある。この問題は事前マップを作成することで解決することができる。本手法では、事前マップのランドマークに線分を用いる。線分のランドマークとして床と壁の境目や壁の終端などの構造物の線分である不変な線分(Structure Edge: SEdge)が有効である。しかし、SEdgeのみの線分マップではランドマーク情報が疎となり、正確な位置推定ができない。そこで、壁に貼ったポスターの枠線などである時間に可変な線分である(Color Edge: CEage)をランドマークとして利用する。本論では、2次元カメラ画像と3次元マップを用いて、2次元画像の線分の属性を判別し、3次元マップを更新するシステムを提案する。

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、マップ作成や位置推定が2次元に限定されていることが課題である。

3. システムの設計

本システムは、事前にSEageで構成する3Dマップを作成し、そのマップにCEageを追加することで3Dマップを更新する。その主要なアーキテクチャは、(1)線分検出、(2)カメラ視線の位置推定、(3)線分リストへ登録、(4)線分判別、(5)3次元再構成の5つである。図1では、システムの処理の流れをフローチャートで示す。

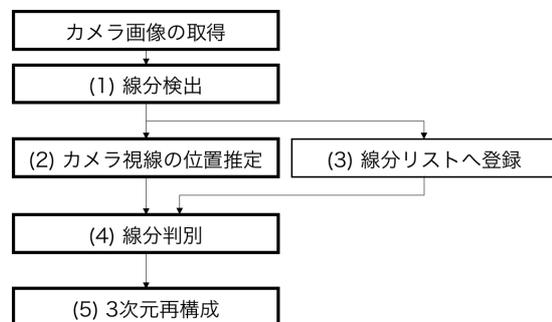


図1 アルゴリズムのフロー

(1) 線分検出

取得カメラ画像から入力線分画像を作成する。

(2) カメラ視線の位置推定

事前処理として、3Dマップから任意視点で撮影した画像を大量に生成し、任意視点DBとして保持する。その後、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とり、論理積画像を生成する。

任意視点DB画像群のインデックスを 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_{db}^i として、マッチング率 m^i およびベストマッチDB画像のインデックス i_b を以下のように定義する。

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

式(1)によって、マッチング率が最大であった任意視点DB画像をベストマッチDB画像として選択し、ベストマッチDB画像に対応した位置姿勢がカメラ視線の位置姿勢として決定される。

(3) 線分リストへの登録

入力線分画像の線分を長さでフィルタリングし、線分の端点である2点の2次元座標を取得することで、線分リストとして登録する。

(4) 線分判別

線分判別では、SEageとCEageに判別を行う(図2)。SEageの判別は、入力線分画像とベストマッチDB画像の論理積を抽出するマスク処理を行い、SEageの候補となる線分を取得する。CEageの判別は、入力線分画像におけるベストマッチDB画像の相対補を抽出するマスク処理を行い、

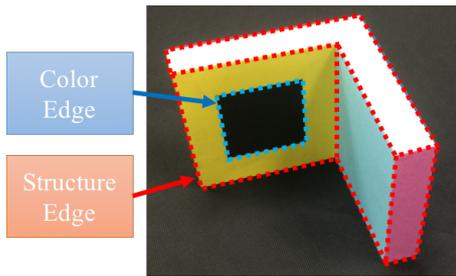


図2 Color Edge と Structure Edge

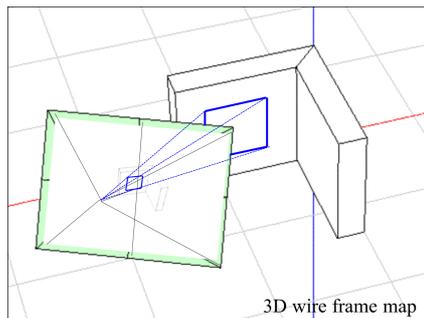


図3 3次元再構成

CEdge の候補となる線分を取得する．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．

(5) 3次元再構成

3次元再構成では，CEdge と推定された2次元の線分を3次元化し，3Dマップに追加する(図3)．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次元マップ座標系における点の座標 $P_g = (x_g, y_g, z_g)^T$ を以下のように求める．

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

式(2)によって，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，この変換のみでは，カメラから対象物までの奥行き情報がなく，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次元再構成を可能にする．

4. 評価実験

入力画像の撮影にはGoPro2 を利用し，1辺が110mmのL字型のブロックを対象(図2)として，

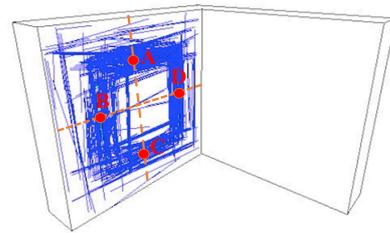


図4 CEdge の3次元再構成結果

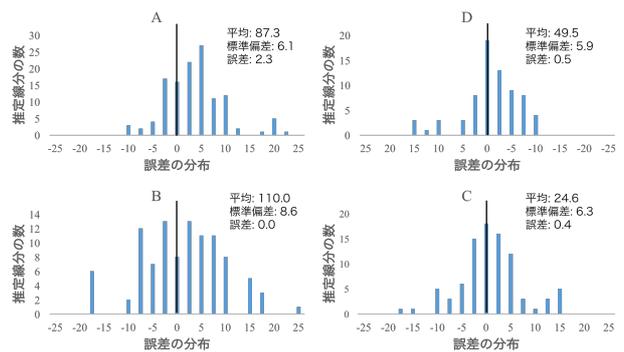


図5 評価実験結果

CEdge が写るように様々な角度から計62枚の画像を撮影した．位置推定に用いる任意視点画像DBは，視点を2mmの間隔で，計12,800枚を用意した．

図4は，62枚のすべてのCEdgeを3次元再構成した結果である．真値のCEdgeの中心に切断面を定義し，この切断面における再構成線分の位置の分布を求める．各切断面を上の切断面から逆時計回りにA, B, C, Dと定義し，評価を行った．図5の各グラフ中の黒の縦の線は，真値の位置を示している．各切断面における真値との誤差の平均は0.83mmとなった．

5. まとめ

線分情報を用いて3Dマップを更新するシステムを提案した．評価実験の有効性の確認をしたところ，3次元再構成の平均誤差は0.83mmとなり有効性を確認した．今後は，カメラ視線の位置推定の高速化や，CEdgeの更新を統計的に定式化，実環境での評価実験を行うことを目指す．

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)