

E-4

テンプレートマッチングを用いた移動ロボットの移動軌跡推定方法

A Study on Movement Trajectory Estimation of Mobile Vehicle using Template Matching Technique

○千葉泰良¹, 清水雅夫²*Taira CHIBA¹, Masao SHIMIZU²

Abstract: The aim of our project is to develop a mobile vehicle with a camera that can precisely measure the distance and direction of the vehicle movement for triangulation without any landmarks or GPS. In this study we investigate a movement trajectory estimation method using a template matching technique with a Homography transformation of the captured images.

1. はじめに

ロボットの移動量を計測するために、様々な手法が提案されている。しかし、誤差が蓄積する、ランドマークなどの環境整備が必要、などの欠点があった。そこで本研究では、マーカやランドマークが使用できない完全に未知な環境を想定して移動軌跡を推定することを目標とした。本報告では、車載カメラで撮影した画像を平面射影変換してから位置合わせを行うことで、高精度な移動軌跡推定方法を検討した。

2. 原理

移動車両は、平面上を移動するものと仮定する。既知の移動量を画像として撮影するために、図1に示すように、CCDカメラを一端に取り付けて指定半径の円軌道を撮影できる装置を構成して実験を行った。

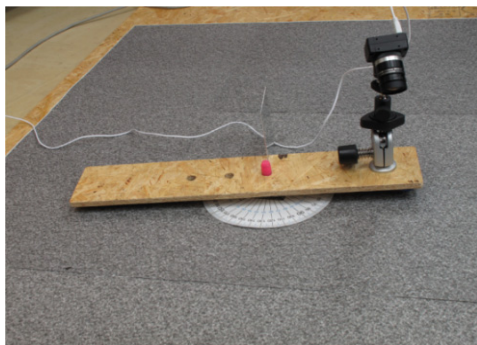


図1: 実験装置

2.1 キャリブレーション

移動車両に取り付けたカメラは、地面に対して正対した画像を撮影することはできない。つまり、地面を撮影した

画像上では、地面の形状が歪んでいる。このとき、地面とカメラの画像面とは、式(1)に示す平面射影変換の関係がある。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

撮影した画像に対応する地面上での位置を求めるためには、式(1)に含まれる6個のパラメータを求める、キャリブレーションを行う必要がある。このために、目盛り間隔が既知の方眼紙を平面に置いて撮影して、画像の中央付近で正方形になるような4点を利用した。

式(1)を用いることで、図2のような撮影画像を図3のように平面(地面)に正対した画像に変形できる。

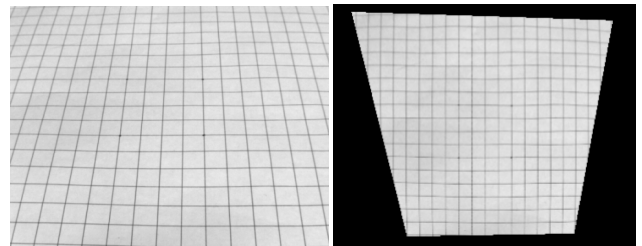


図2: 撮影画像

図3: 平面射影変換した画像

2.2 アフィン変換

車両の移動に伴い、カメラは異なる画像を撮影する。それぞれの画像を、式(1)を用いて変換することで、車両の移動量が画像上での移動量に対応する。

車両は走行方向も変えるため、移動方向は曲線になる。つまり、図3のように変換した画像を位置合わせするときには、平行移動の他に回転を考慮する必要がある。

そこで、画像間の位置合わせにはアフィン変換を用いた。式(2)に示すアフィン変換を表す 6 パラメータを求めるために、図3のように変換した画像間での 9 カ所の対応位置を利用して、最小二乗法を用いた。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

2.3 テンプレートマッチング

画像間での対応位置を求めるために、テンプレートマッチングを利用する。テンプレートマッチングでは、式(3)に示す輝度差の二乗和(SSD)を用いた。

$$R_{SSD} = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (I(i, j) - T(i, j))^2 \quad (3)$$

ただし、テンプレートの大きさを $M \times N$ 、テンプレートの位置 (i, j) における画素値を $T(i, j)$ 、テンプレートと重ね合わせた対象画像の画素数を $I(i, j)$ とする。

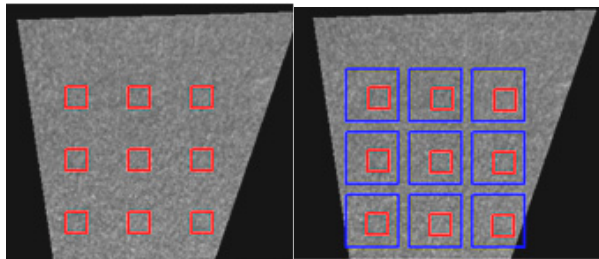


図4: テンプレート位置 図5: 対応位置検出結果

図4の赤い領域がテンプレートの位置、図5の青い領域が探索範囲、図5の赤い領域の位置が検出した対応位置を表す。時系列画像中の隣接フレーム間では急激な移動はないので、探索範囲は注目領域(テンプレート位置)を中心とする一定の領域とした。

2.4 サブピクセル推定

画像間の対応位置をより精密なものとするために、画素(ピクセル)単位よりも細かなサブピクセル単位での対応位置を推定した。SSD と併用して推定誤差が小さなパラボラフィッティング^[1]を用いた(式(4))。

$$\hat{d} = \frac{R(-1) - R(1)}{2R(-1) - 4R(0) + 2R(1)} \quad (4)$$

ただし、 \hat{d} はサブピクセル推定値、 $R(0)$ は SSD 値が最少の位置における SSD 値、 $R(-1)$ と $R(1)$ はその隣接位置における SSD 値である。

3. 実験結果

円軌道を描く移動軌跡が正確に推定できるかどうかを確認した。画像処理プログラムは C++Builder^[2]で記述した。

図6は、隣接フレーム間での画像を平面射影変換した後アフィンパラメータを推定し、重ね合わせた誤差画像である。中間調のグレーは誤差 0 に対応する。高精度に位置合わせができていることが確認できる。

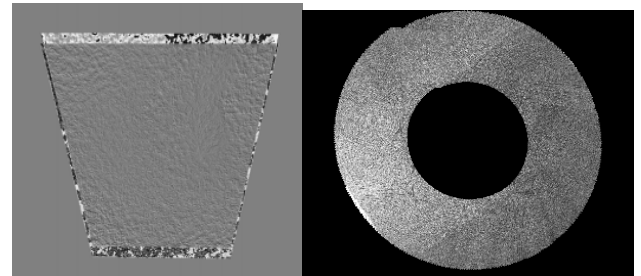


図6: 差分評価画像

図7: 移動軌跡推定画像

図7は円軌道 1 周に対して 360 枚の画像を撮影し、全ての画像に対して同様の処理を行い車両の移動軌跡を推定した結果である。若干の誤差があるものの、円軌道を推定できた。また、撮影した乱数パターンも確認することが出来た。

4. まとめ

本報告では、車載カメラで撮影した画像を平面射影変換してから位置合わせを行うことで、高精度な移動軌跡推定方法を検討した。

今後は、画像全体を用いた画像間の対応位置検出、非平面上を移動するときの移動軌跡推定方法などを検討する。

5. 参考文献

- [1] 奥富, 清水他編: デジタル画像処理, 2004.
- [2] 北山洋幸: C++Builder6 コンポーネント活用ガイド & 実践プログラミング, カットシステム, 2004.