

## ステレオカメラを用いた移動車両の走行環境の計測に関する研究

### A Study on 3-D Terrain Measurement surrounding Mobile Vehicle using Stereo Camera Rig

○鎌田亮介<sup>1</sup>, 清水雅夫<sup>2</sup>\*Ryosuke Kamata<sup>1</sup>, Masao Shimizu<sup>2</sup>

**Abstract** The aim of our project is to develop a mobile vehicle with a stereo camera rig 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 range data integration method using ICP algorithm to combine multiple stereo range data to make a wide range 3-D terrain shape.

#### 1. はじめに

移動ロボットや自律走行車は、目的地まで指定した経路を走行できることが重要である。そこで、任意の経路を走行させるために、車体の自己位置の認識が必要となる。

自己位置の認識には、ランドマークを用いて外環境から情報を与え、その情報を検出する方法、タイヤに角度センサや角速度センサを取り付け、タイヤの回転数から車体の移動距離と方向を計測し、車体の移動軌跡を描くデッドレコーディングなどの方法がある。

しかし、前者では事前にランドマークを配置する必要があり、測定範囲が限定される。後者では、センサのドリフトにより、時間の経過と共に誤差が蓄積され、移動軌跡にずれが生じる。また、タイヤの回転を計測していることから、雪面や砂場ではタイヤの空転することが考えられ、曲がる際の車体のすべりによって実際の移動距離や車体の進行方向と計測結果に誤差が生じることになる。

本研究の目的は、カメラを用いて画像の視覚的情報から上記の問題を回避することである。カメラから外環境にあたる走行面情報を得て、移動軌跡を描く。また、ステレオカメラを構成し、カメラから得られる 2 次元の濃淡画像を使って、走行面に正対する画像間の位置合わせを行う。次にステレオカメラから三角測量の原理で 3 次元データである距離マップを取得できることから、3 次元の走行路面形状を復元する。複数のステレオ画像データを結合するために、ICP(Iterative Closest Point)アルゴリズムを適用し、3 次元位置合わせの検討を行う。

#### 2. 構成装置

Point Grey Research 社製のステレオビジョンカメラ Bumblebee<sup>2</sup> を移動車両に搭載し、走行路面を撮影した複数のステレオ画像を用いて、画像データの統合方法の検討を行った。カメラの最大解像度は 648×488[画素]、基線長は 120[mm]、水平画角 66[°]、水平画角 43[°]である。走行路面からカメラまでの距離は約 200[mm]である(図1)。

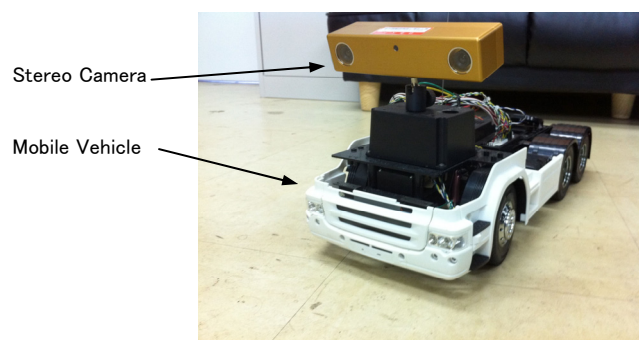


図 1. ステレオカメラを搭載した移動車両

#### 3. 計測原理

##### 3.1 2次元平面上の移動軌跡推定

まず、カメラで撮影した画像を走行路面に正対した画像に変換する。変換には平面射影変換<sup>[1]</sup>を用いる。平面射影変換パラメータは、あらかじめキャリブレーションを行い求めておく。

次に、最低 3 点の対応点からアフィン変換に必要な幾何学的変換パラメータを算出し、平面射影変換した画像間での位置合わせを行う。

画像間の対応位置検出にはテンプレートマッチングを利用し、相違度として SAD(Sum of Absolute Differences)を用いる。

新しい画像を撮影するごとにこのプロセスを繰り返し、車両の移動に伴う走行路面画像を生成する。そして、車両中心を予め決定しておくことで、車両位置の移動軌跡の推定ができる。走行路面に対してカメラの位置・姿勢をキャリブレーションしておくことで、画像上での距離と実際の走行路面上の距離の対応が求まる。従って、画像上での移動距離を積分することで、実際の走行路面上での距離も求まる。

##### 3.2 走行路面の3次元形状の復元

ステレオカメラで、左右の画像  $m_L$  と  $m_R$  から走行路面の 3 次元座標位置を計測する。まず、2 枚の画像の対応点を探索して視差から距離マップを生成する(図2)。その際、左画像を基準として、右画像の対応点から画像を平面射影変換

1: 日大理工・院(前)・精機, 2: 日大理工・教員・精機

により回転させ、ステレオ画像を平行化するレクティフィケーションを行うことにより、エピポーラ線は水平に引かれる。水平ラインを探索するだけで済むため、対応点の探索を正確に行うことができる。対応点探索により、三角測量に必要なパラメータを求めることができ、3次元座標データを取得し、距離マップを生成する。画像座標に3次元位置のデータを用いて、走行路面の形状復元が可能となる。

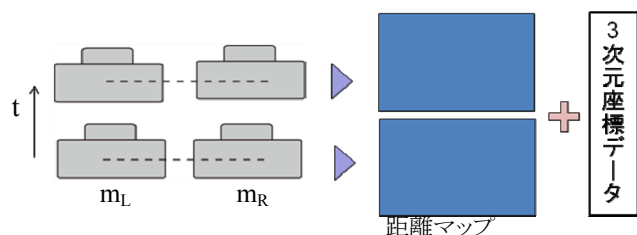


図 2. 移動するステレオカメラと距離マップ

距離マップ  $P$  と移動後の距離マップ  $X$  の座標系の位置関係は一般に未知である。この位置関係を推定するために ICP アルゴリズム<sup>[2]</sup>を用いる。標準 ICP アルゴリズムでは、点群データから最近傍による対応付けと、対応点からの幾何変換の推定の 2 つの処理を交互に行う。

まず、点群データであるモデル形状  $X$  に対してデータ形状  $P$  を単純にデータ統合する。しかし、点群データはカメラ座標を中心とした座標系であることから自然な統合にならないがこの状態を初期状態とし、標準 ICP アルゴリズムを用いて自然な統合を行う。 $P$  の点群データ点  $p$  から  $X$  の点群データ点  $x$  の中で最も近い点  $y$  を対応付ける。 $p$  について繰り返し計算を行う。 $x$  と  $y$  が対応付けられたら、それに対応する幾何変換  $q$  を推定し、 $P$  に適応する。変換後、データ形状  $P$  から再び  $X$  中の最近傍点への対応付けの処理に戻り、 $y$  と  $q$  を更新し、繰り返し演算する。

#### 4. ステレオカメラによる距離計測の検証

ステレオカメラの距離計測の検証を行った。また、走行路面の凹凸を正確に計測できることが重要となることから、測定物を配置した場合の計測の検証を行った(図3)。ステレオカメラから床面までの距離は 585[mm]、測定物の大きさは  $100 \times 100 \times 100$ [mm]である。床面と測定物には乱数パターンを張り付け、距離計測が確実にできるようにした。本検証では3次元データと実距離が一致すること、オクルージョン(左右のカメラ位置により見えない部分)が発生することを考慮し、床面に対しカメラを垂直に配置した。実際に移動車両に搭載する際には、撮影範囲を広くとるため、傾きを持たせる。

実験の結果、3次元の点群データは実距離と同様にカメラ

座標系の原点から  $z$  方向に 585[mm]付近で平面状に計測できた(図4)。また、測定物を配置した場合の計測では床面の3次元データ点群からカメラ座標系の原点方向に 100[mm]付近の距離で測定物の上面が平面状に計測できた。

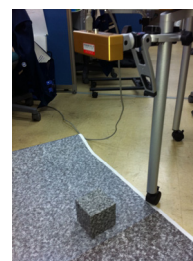
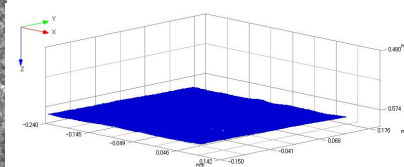
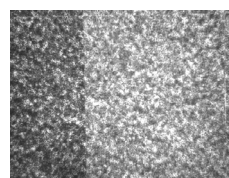
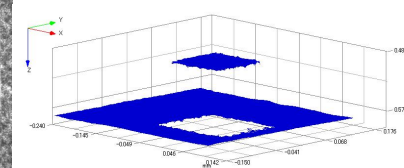
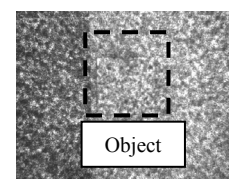


図 3. ステレオカメラ計測位置



(a) 測定物なし



(b) 測定物あり

図 4. ステレオカメラで撮影した画像と計測した距離マップ

#### 5. まとめ

走行路面画像を使って移動ロボットの走行環境を計測する手法に関して、走行路面の3次元形状復元について検討した。復元した3次元形状を利用すると、移動ロボットの3次元的な移動距離と移動方向を求めることができる。

しかし、走行路面上にテクスチャがない場合や、天候などの影響でステレオ計測が困難な状況もありうる。画像中にこのような領域があっても、安定に計測できるアルゴリズムの開発に努めたい。

また、計測した3次元データの統合における拘束として走行路面の濃淡画像を利用することも検討する。

#### 参考文献

- [1] 奥富, 清水他(編集), “デジタル画像処理”, CG-ARTS 協会, 2004.
- [2] 岡谷, 増田他, “コンピュータビジョン最先端ガイド 3”, アドコム・メディア, 2010.