

## カメラの上下動を考慮するモンテカルロ法とベイズ推定に基づく 物体の三次元形状復元法の検討

### A Study of Monte Carlo and Bayes Estimation Based Method for Reconstructing 3D Objects in Consideration of Vertical Movements of the Camera

成沢 祐\*1 小方 博之\*2 大谷 淳\*1

Yu NARISAWA Hiroyuki OGATA Jun OHYA

\*1 早稲田大学大学院国際情報通信研究科

Waseda University, Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies

\*2 成蹊大学理工学部 Seikei University, Faculty of Science and Technology

#### 1. はじめに

近年、ロボットの研究開発が活発になっており、その適用範囲も、流れ作業的な工場から、屋内外の一般的な環境へと広がる兆候が見られるようになってきた。このような一般的な環境中を自律的に移動して知的な作業を行うロボットを実現するためには、ロボットに搭載したカメラ画像から未知の環境の三次元形状復元を行う機能、即ち Structure from Motion (SfM) 技術が必須であると言える。従来、SfM に関する研究は数多く行われているが、筆者らはベイズ更新に基づく逐次的方法を提案し、検討を進めている [1]。しかし、文献 [1] の手法の問題点として、他の SfM の多くの方法と同様、特徴点を追跡する必要があり、追跡の失敗は形状復元結果に深刻な影響を与える点が挙げられる。この問題を解決すべく特徴点の追跡ではなく、確率密度を用いる手法で三次元形状復元を行った [2]。その際、問題点として挙げられたのが上下の移動誤差を含んだ場合の形状復元が行えないことである。この問題に伴い、本報告では平坦ではない床でのロボットの移動を考慮し、上下左右の移動誤差を含めても形状復元を行えることを念頭に置いた検討を行なう。

#### 2. 従来の手法の問題点

参考文献 [1] に示されるベイズ更新とはロボットの位置情報を確率分布として移動命令、センサ値に基づきベイズの定理によって事後分布を更新していくものである。復元手順としては、画像上の特徴点をフレーム毎にトラッキングしていき、モンテカルロ法によりリサンプリングを行っていくものである。更に、特徴点の追跡を不要とする手法として、文献 [2] ではロボットの移動に伴い移動する特徴点を確率密度で表現し、各フレーム毎にリサンプリングを行っていくことで形状復元を行っている。しかし、この手法の問題点として、カメラの自由度を 1 に設定して復元を行っている点が挙げられる。左右の誤差に関してのみ対応をしているので、上下の誤差に対応していない。これは、研究背景としてカメラが一定の高さにあるものとし、エピポーラ線に従って動くものとしたからである。このことにより、カメラの上下のブレに対して特徴点らしさの確率が下がってしまう問題や、平坦な床面のみに対応しているのでロボットが柔軟に動作する為の妨げになってしまう問題が挙げられる。今回提案する手法は文献 [2] の問題点の解決を考え、上下左右の誤差に対応し、どのような床面でも形状復元が行えることを目指したものである。

#### 3. 提案手法

上下左右の誤差が確実に発生する状況として、カメラを柔らかい床面に設置し、移動させながら対象物体を撮影する。取得した時系列画像における初期フレームにおいて、特徴点を検出する。その特徴点に対して、サンプルを複数発生させ、三次元座標のセットを作成する。次に時系列画像の各フレームの画素毎に特徴点らしさの確率計算をし、確率密度とする。計算手法として、特徴点を中心とするテンプレートマッチングを行う。特徴点らしさの確率密度に従いサンプルを選びなおし、この動作を画像毎に行なうことにより、特徴点の三次元座標の絞込みを行う。最終的に、最も多く選びなおされたサンプルを特徴点の三次元座標とし、複数の特徴点の三次元座標を得ることにより物体の三次元形状を復元する。

#### 3.1. 提案手法のアルゴリズム

以下に提案手法のアルゴリズムを示す。

- i). 図 1 のような状況を設定し、初期画像において、画像座標の特徴点  $(u, v)$  を検出する。三次元空間上の特徴点は中心射影によって画面上に投影されると考え、カメラ中心と画像上の特徴点を通る直線上に特徴点の三次元座標の候補としてサンプル  $(X, Y, Z)$  を発生させる。ロボットの移動に伴ってサンプルはフレーム毎に移動すると考え、ロボットの移動距離と正規乱数  $e$  をサンプル毎に足し合わせ、ロボットの移動を表現する。ここで、特徴点は初期フレームに対し、次フレームにおいて上下左右のどの位置に来るか不明であるので、移動後のサンプルの座標は、 $(X+e, Y, Z+e)$  となる。
- ii). 移動した後のサンプルの三次元座標を画像座標系に変換する。画像座標から三次元座標への変換は、中心射影を考え、 $f$  を焦点距離とし、それぞれ

$$u = f \frac{X}{Y} \quad (1) \quad v = f \frac{Z}{Y} \quad (2)$$

という式を使用して変換するものとする。変換後の画像内座標を  $(u', v')$  とする。

- iii). (ii) で変換した画像内座標  $(u', v')$  において、テンプレートマッチングにより計算されたその位置での特徴点らしさの確率を、そのサンプルの重みとする。テンプレートマッチングについては 3.2 節で説明するものとする。

- iv). 重みに従い、複数のサンプルをリサンプリングする。(ii)~(iv)の動作を画像毎に繰り返し、結果的に頻度が最も高いサンプルを特徴点の三次元座標とし、世界座標系に変換する

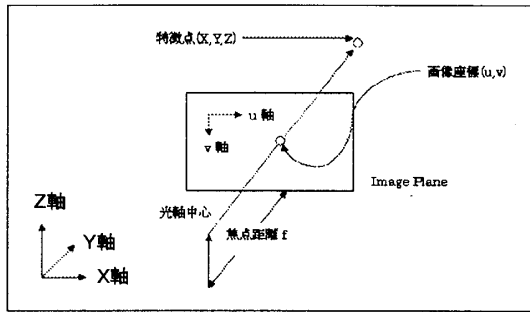


図1 初期画像設定

### 3.2. 上下左右に対応したテンプレートマッチング

3.1 で説明したアルゴリズムのテンプレートマッチングについて説明する。図2の赤い丸に示した画像中の特徴点1点に対し、次フレームにおいて、特徴点は移動する。この点はエピポーラ線上に存在しない為、従来法では確率が計算できない。そこで上下の誤差に対応する為、図3のように次フレームにおいてその特徴点のY座標を中心とした上下数十画素分に対してマッチングを行う。マッチングを行うことで、範囲内の画素全てに対し特徴点である確率を計算し、この値が高い点は特徴点である確率が高いものとする。320×240画素の画像において、エピポーラ線上のみのテンプレートマッチングの範囲は、320画素分のみであったが、本手法では、上下数十画素×320画素分のマッチングを行なうことで、上下のブレに対応している。

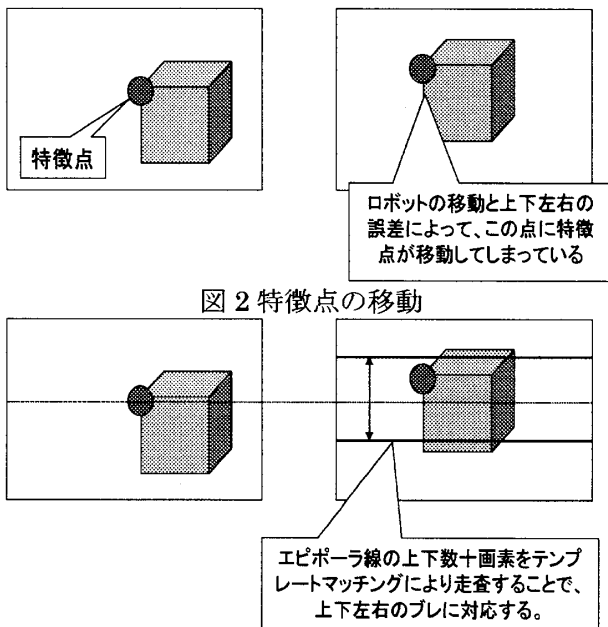


図3 上下左右の誤差に対応したテンプレートマッチング

### 4. 実験

まず、ロボットを想定したデジタルカメラの正面に物体

を置き、2cmごとに水平方向に移動すると仮定する。状況設定として滑らかな床ではなく、上下の誤差が生じるような柔らかい床面を設定し、実験を行なった。デジタルカメラを移動させながら、対象物に対し計9枚の画像を取得する。初期フレームについての画像を図4に示す。初期フレームより、設定した特徴点毎にサンプルを250セット発生させ、提案手法に従い実験を行った。ここで、特徴点の設定について説明をする。本来は、特徴点の検出をOpenCVを用いて、自動抽出を行なう予定であった。手法としては、画像をグレースケール化し、コーナーの認識を行なう。次にエッジであるかどうかの認識を行う。更にLucas-Kanade法を用い、ピラミッドを用いてオプティカルフローを計算することにより、特徴点を抽出する。しかし、結果として、図4の画像の初期フレームに対し、図5のように本来抽出すべき特徴点以外にも多数、特徴点が抽出されてしまい、設定困難な状況になったので、今回は特徴点を手動で設定することにした。その結果、図5のような物体の三次元形状復元が確認できた。

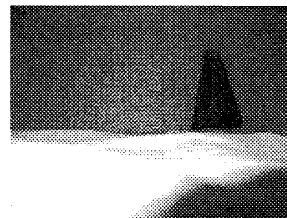


図4 実験初期フレーム

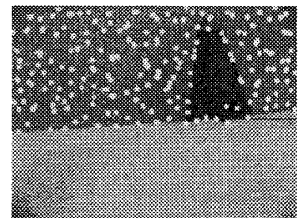


図5 特徴点自動抽出

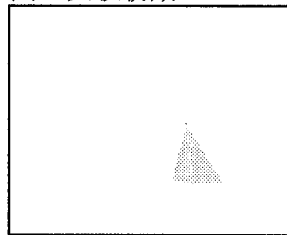


図6 実験結果

### 5. 考察

本研究では、上下左右の誤差を含む状況でも特徴点らしさの確率密度を用いることにより、対象物体の形状復元が行えることを示した。しかし、問題点として特徴点がテンプレートマッチング範囲外に移動してしまった場合、確率密度を計算することが困難になってしまう点が挙げられるので、更に効果的な特徴点らしさの確率の計算手法を考慮する必要がある。また、4節に示したような特徴点の自動抽出化を現時点で行なえない点が挙げられる。対応策として、背景差分法による背景の除去や、データベースを活用することで、対象物体の認識させる手法が考えられる。今後は以上の点に留意し、発展させていきたい。

### 参考文献

[1] 大井 康義、池田 光司、小方 博之, “移動ロボットによる逐次的3次元形状復元”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'05, CD-ROM収録, 2005. 6  
 [2] 成沢 祐、小方博之、大谷 淳, “移動カメラを用いるベイズ更新に基づく逐次的3次元形状復元法の検討“特徴点の追跡が不要な方法の提案と基礎的検討”, 2006年電子情報通信学会総合大会, D-12-57, p. 189, 2006. 3.