

# 移動物体を含む環境における移動ステレオカメラの姿勢推定と空間の3次元復元の検討

## Study of Estimating the Egomotion of the Moving Stereo Cameras in the Environment Including Moving Objects and Reconstructing the Observed Space in 3D

立松 直倫† Tatematsu Naotomo  
 謝 英弟‡ Xie Yingdi  
 大谷 淳† Ohya Jun

### 1. まえがき

本論文では静止物体と複数の移動物体を含む観測環境において、ステレオカメラの時系列画像から、ステレオカメラの姿勢の推定と、静止物体及び個々の移動物体の識別を行い、3次元復元を行う手法について述べる。

RANSAC を用いて静止物体と複数の移動物体を分類する方法としては[1]や修正 RANSAC を利用した[2]が挙げられる。[1]は移動物体の分離のみが対象である。[2]は特定の二つのシーンのみを対象としており時系列画像の利用が不十分である。本論文では、[2]の修正 RANSAC を拡張した、効率的な移動物体の分類と静止/移動物体毎の形状復元手法を提案する。

### 2. 提案手法

提案手法は図1のように3つのフェーズで構成される。

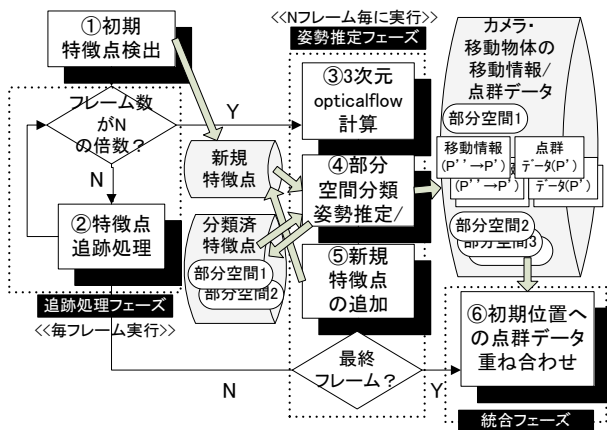


図1 処理フロー

#### (a) 追跡処理フェーズ【フレーム毎に実施】

Haris のコーナー検出を用いて①で検出した初期特徴点と⑤で追加した特徴点に対し KLT を用いて追跡を行う。

#### (b) 姿勢推定フェーズ【Nフレーム毎に実施】

ステレオカメラの画像から取得した距離値と②の追跡情報から、前回の姿勢推定時の位置と現在位置との3次元オプティカルフローを作成する。フローは移動するカメラから作成しており、静止物体の場合でも大きさは0ではなく、フローの向きや大きさは全て同じになる。また、異なる移動物体間では向きや大きさが異なり、同一の物

体の場合は同じである。そこで、静止物体または単一の移動物体毎に大きさや向きが同じフローの集合を3次元フロー領域と定義する。算出したフローを定義した3次元フロー領域へ分類(3.2)し、併せてカメラ・移動物体の姿勢推定(3.1)も、分類処理時に同時に行う。分類後、距離画像データのラベリングを行い各3次元フロー領域に属する点群データをストアする。最後に Haris のコーナー検出で検出した点を追跡対象に追加して②に戻る。

#### (c) 統合フェーズ【最後に実施】

点群データを姿勢推定フェーズで算出した回転・並進移動行列を用いて初期位置に重ね合わせ、復元を行う。

### 3. 1 カメラ・移動物体の姿勢推定処理

本処理は[3]を参考に以下の流れで実施する。M 個の特徴点が存在する観測空間において、任意の回転行列(R), 並進行列(T)を用いて、i 番目の特徴点の直前のフレームの3次元位置 (P<sub>i</sub>) を、次のフレームの3次元位置(P<sub>i</sub>')に重ね合わせた際の誤差は下式となる。

$$E_i = P_i - (RP_i' + T) \quad (1)$$

二つのフレームで観測した M 個の特徴点に対し、この誤差の和を最小化する R・T が推定結果となる。ここで座標系の原点を下式の  $\mu, \mu'$  に取ると並進行列を削除でき、(3)の右辺を最小化する回転行列を求める問題に帰着する。

$$\mu = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M P_i, \quad \mu' = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M P_i' \quad (2)$$

$$\Sigma^2 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (P_i - \mu)(P_i' - \mu')^T \quad (3)$$

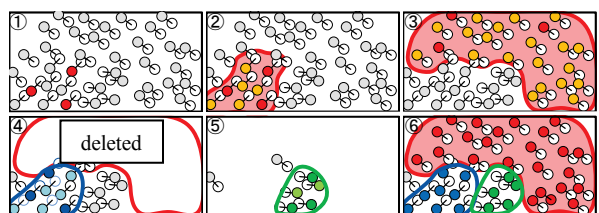
回転行列は3次元空間上の3点の対応関係から算出することが可能である。[3]より3点の対応点の情報(3)の右項の3×3行列に代入し特異値分解を行った結果(UDVt)を用い、回転・並進行列は下式より導出できる。

$$R = UIV^T, \quad T = \mu - R\mu' (Iは単位行列) \quad (4)$$

### 3. 2 フローの3次元フロー領域への分類処理

#### (1) 初回処理

初回処理は[2]の修正 RANSAC を利用して行う。修正 RANSAC とは外れ値に対して再度 RANSAC を適用することを繰り返して分類を行う教師なしの分類機である。



† 早稲田大学国際情報通信研究科 Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University

‡ 前早稲田大学国際情報通信研究科

図2 初回処理イメージ図

- ① 未分類の特徴点の集合からランダムに3点の特徴点(赤)を選択し3.1の手順で回転・並進行列を計算する.
- ② ①で求めた回転・並進行列を元に(1)の誤差を求めて,誤差が閾値の範囲内の点の当たり値の数をカウントする.上記の例では橙色に着色された5点となる.
- ③ ①②の処理を繰り返し,最も当たり値の数の多いケースの点(赤・橙)を同一の3次元フロー領域に属する点とし,①で求めた回転行列・並進行列をその姿勢とする.
- ④ 属する3次元フロー領域が確定した点は削除し,再度①~③の処理を繰り返して移動物体の分類を行う.
- ⑤ 当たり値が0となる又は未分類の点が4点以下になるまで①~⑤を繰り返し,最終的な分類結果⑥を得る.

(2) 二回目以降の処理

本処理は修正 RANSAC を拡張した以下の方式で行う.

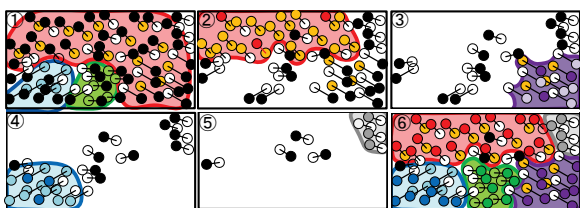


図3 二回目以降の処理イメージ図

- ① 特徴点を3次元フロー領域に分類済みの点(起点が着色済),新規の点(起点が未着色)の点に分ける.
- ② 点の数が一番多い3次元フロー領域(赤・橙)と新規の点のみ評価空間に残し下記条件で修正 RANSAC を実行する.
  - ・ランダムに選択する3点:3次元フロー領域に属する点
  - ・当たり値/外れ値の判定対象の点:評価空間の全点
- ③ 一つの3次元フロー領域から複数の3次元フロー領域が見つかった場合(紫)には,対象特徴点の過去のデータも含めて全て新しい3次元フロー領域に移す.
- ④ 全ての3次元フロー領域を処理するまで,3次元フロー領域に属する特徴点が多い順に②③の処理を繰り返す.
- ⑤ 最後に残った未分類の点のみに対して修正 RANSAC を実行する.過去に未観測の新規の移動物体はここで検出される.以上より,最終的な分類結果⑥を得る.

4. 実験結果

3つのシーン(a)(b)(c)において,カメラは上に常に移動し続け,左の移動物体はシーン(a)の後から,右の移動物体はシーン(b)の後から動き出す条件で実験を行った.

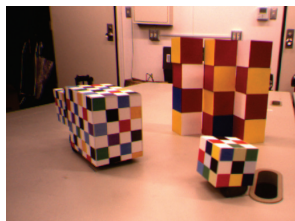


図4 シーン(a)

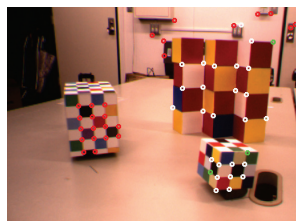


図5 シーン(b)分類処理[1]

以降の図では白/緑の点が当たり値,赤の点が外れ値を表す.図5では左の移動物体を外れ値(赤)として分離し,残りを静止物体として分類している.外れ値として分類された点は図6で移動物体として分類されている.

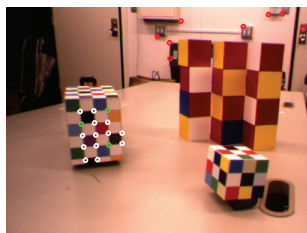


図6 シーン(b)分類処理[2]

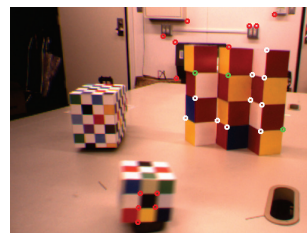


図7 シーン(c)分類処理[1]

シーン(b)で静止物体として分類された3次元フロー領域に対し,図7で右の移動物体を外れ値(赤)として分離し,図8で同一の3次元フロー領域として検出している.



図8 シーン(c)分類処理[2]

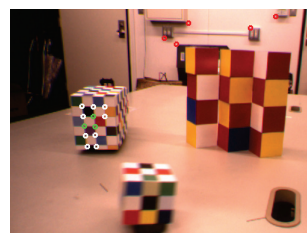


図9 シーン(c)分類処理[3]

図9では,シーン(b)で移動物体として検出した3次元フロー領域を同一の領域として観測を継続している.



図10 復元結果(左:全て表示 中/右:移動物体1,2)

図10は点群データを初期位置に重ね合わせた図である.中・右の図では移動物体の点群データのみ分離され表示されており,分類処理の正しさを示している.

5. まとめ

以上より,修正 RANSAC を拡張した手法によりカメラが移動する状況下における移動物体と静止物体の分類と空間復元を行った.本手法は時系列画像の解析を行う場合において,様々な応用が利くアルゴリズムである.今後は更なる精度の向上と更なる応用を考えたい.

参考文献

[1] Y. Sugaya and K. Kanatani: "Extracting moving objects from a moving camera video sequence", Proc. of the 10th Symposium on Sensing via Image Information, pp.279-284 (Jun. 2004).

[2] Yingdi XIE, Jun OHYA: "A Method for Detecting Multiple Independently Moving Objects from the Sequences Acquired by Active Stereo Cameras and Estimating the Cameras' Egomotion", 画像電子学会誌 39(2), 163-174, 2010

[3] 運天 弘樹,増田 智仁,三橋 徹,安藤 真: "ステレオカメラ移動撮影によるVRモデル自動生成手法の検討", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.12, No. 2 pp.127-136, 2007