

飛行型プラットフォームによる 移動物体のリアルタイム識別手法に関する研究

Study on a real-time method to detect moving objects
from flying platform-borne monocular images

学籍番号 47-136821

氏 名 木村元紀 (Kimura, Motoki)

指導教員 柴崎亮介 教授

1. 研究の背景と目的

近年、電子機器の小型化、高性能化に伴い、オートパイロット機能を備えた小型の無人航空機 (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) が市場に出回るようになった。これらの UAV は、空撮のための安価かつ手軽なプラットフォームとして利用され、上空からの広範囲にわたる情報収集を可能としている。

本研究では、UAV やバルーンなどの飛行型プラットフォームによって撮影された画像から、移動物体をリアルタイムに検出する手法の開発を行う。空中を移動しながら撮影を行うことによって、より広い範囲を選択的に観測することが可能となり、イベント会場などにおける雑踏の流動の把握および異常行動の監視や、災害時における避難経路の最適化などへの応用が期待できる。

移動体検出に関する既存手法の多くは、移動体によって画面内に現れる変化を検出することにより、移動体を識別している。しかしながら、これらの手法の大部分は、監視カメラなど環境に固定されたカメラを対象としており、カメラ自身が動く場合には移動体を画像から正しく検出することができない。特に、飛行型プラットフォーム

は地上を走るロボットなどに比べて位置・姿勢の自由度が高く、また突風などの環境外乱によって姿勢が大きく変化することもある。そのため、カメラの視野内に移動体が存在しない場合にも、画面内に大きな変化が現れることがありうる。このようなプラットフォーム自身の動きに起因する画面の変化が、画像から移動体を検出することを難しくしている。

2. 提案する移動体識別手法

本研究では、このようなプラットフォームの”動き”を生かした、移動体の検出方法を提案する。提案手法では、移動しながら撮影した 2 枚の画像における幾何的な拘束条件を考慮することによって、環境中を移動している物体を検出する。図 1 には提案手法の概観を示す。

2.1. 外部パラメーターの算出

幾何を利用した移動体検出には、2 枚の画像に対するカメラの外部パラメーター (3 次元の並進ベクトルと、 3×3 の方向余弦行列) が必要となる。本研究では、Klein らによって開発され monocular SLAM 手法の 1 つである PTAM [1] によって、外部パラメーターを算出する。

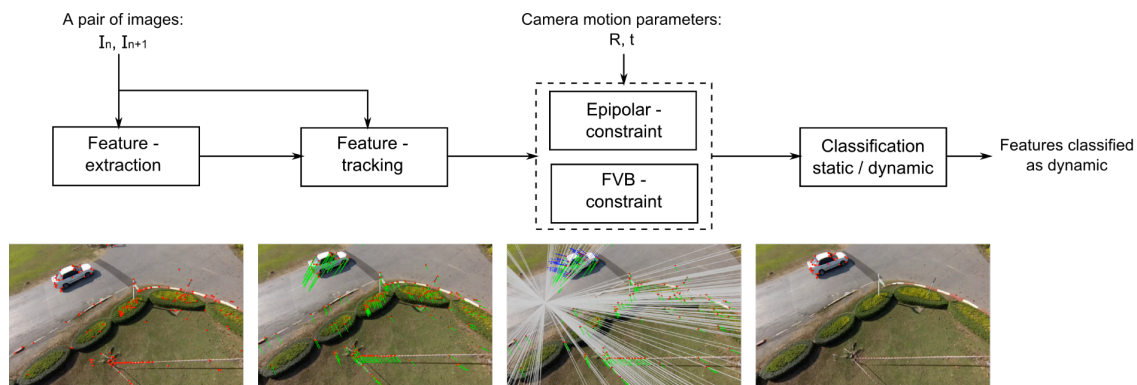


図 1. 提案手法のブロック図

2.2. 移動点の検出

本節では、飛行型プラットフォームが連続して撮影した 2 枚の画像から、幾何的な拘束条件を利用して移動物体を検出する方法について、その詳細を述べる。

2.2.1. 特徴点の追跡

最初に撮影した画像から特徴点を抽出し、その次に撮影した画像において現れる同一の特徴点を追跡する。本研究では、KLT トラッカー[2]による特徴点の抽出およびその追跡を行った。以降では、これらの特徴点のそれぞれに関して適用される 2 つの幾何学的な拘束条件について述べたあと、これら 2 つの拘束条件を利用した移動点検出のための確率モデルを構築する。

2.2.2. エピポーラ拘束

環境中に固定された任意の点について、1 枚目の画像上でのその点の位置と外部パラメーターが既知であれば、2 枚目の画像上での対応する点の位置は、ある 1 本の線上に限定される。この線をエピポーラ線と呼び、この拘束条件をエピポーラ幾何と呼ぶ[3]。

エピポーラ幾何によると、特徴点が環境中に固定された点から抽出されたものであれば、その特徴点は、必ずエピポーラ線の

上に存在する。それに対して、移動体から検出された特徴点は、エピポーラ線の上に存在するとは限らない。つまり、追跡を行った特徴点のそれぞれについてエピポーラ幾何をチェックすることにより、その特徴点が環境中に固定されているのか、それとも移動しているのかを識別することができる。

2.2.3. 特徴点の移動長に関する拘束

エピポーラ幾何を利用した移動点の抽出は、プラットフォームと移動点が、環境中を同じ方向に動いている場合には利用することができない。なぜならば、このような場合、画像上に投影された移動体の動きは、エピポーラ線に沿ったものとなるからである。このような状況下においても移動体を正しく検出するために、特徴点の移動量に関する拘束条件を導入する。

本稿ではこの画像上での点の移動を、フローベクターと呼ぶ。フローベクターの長さは、一般にカメラから対象までの距離（深度）に反比例する。深度がとりうる最小値と最大値を設定することにより、フローベクターの絶対値に関する拘束条件を得る。

2.2.4. 移動点検出のための確率モデル

対象となる点が環境中を移動している確率を，エピポーラ幾何とフローベクターの絶対値に関する拘束条件を引数として定式化する．

対象となる特徴点 p_i が環境中に固定された点である確率を，次のような条件付き確率として定義する．

$$P(p^i = static | z_{k-d}, z_k) = \sum_{M_{k-d:k}} P(p^i = static | M_{k-d:k}) P(M_{k-d:k} | z_{k-d}, z_k)$$

右辺の第二項は，PTAM による外部パラメーター（記号 M ）の計測値の確率分布である．右辺の第一項は，エピポーラ幾何による拘束条件および，フローベクターに関する拘束条件によってモデル化する．

$$P(p^i = static | M_{k-d:k}) = f_{EP} \times f_{FV}$$

ここで，右辺の第一項はエピポーラ拘束を条件付き確率に反映する関数であり，第二項はフローベクターに関する拘束を条件付き確率に反映する関数である．

$$f_{EP} = e^{-\alpha(h_{k-d} + h_k)}$$

$$f_{FV} = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{k-d:k} - d_{mean}}{d_{range}} \right)^{2\beta}}$$

条件付き確率が，あらかじめ定めた閾値を下回った点 p_i を，環境中を移動している点として識別する．

3. 実験

提案手法の性能評価実験を行った．プラットフォームとしては，重量 450 グラムほどの小型クアッドローター型 UAV を使用

した．UAV の外観を図 2 に示す．この UAV を地表から 8 メートルほどの高さで飛行させ，搭載した小型カメラにより，複数の歩行者が存在する交差点を斜め上から撮影した．



図 2. 実験に使用した UAV

実験の結果を図 3 に示した．図 3 の 1 番目の画像には，抽出された特徴点が赤色の点で示されている．2 番目の画像には，1 番目の画像に続いて撮影された画像が示されている．1 番目の画像と同じく，抽出された特徴点は赤色の点で示されており，KLT トラッカーによる特徴点追跡の結果が緑色の直線で表されている．3 番目の画像には，各特徴点に対応するエピポーラ線が白色の直線で描画されている．また，青色の直線は特徴点からエピポーラ線に降ろした垂線である．この青色の直線に着目すると，移動体領域から抽出された特徴点はエピポーラ拘束にしたがっていないことがよくわかる．4 番目の画像では，提案手法によって移動点と認識された特徴点だけが赤色の点で表されている．1 番目の画像と 4 番目の画像を比較すると，提案手法により，移動体領域から抽出された特徴点だけを，正しく識別できていることがわかる．

また，目視により詳細に精度の検証を行った結果，図 3 に示すような歩行者が多く

存在する状況下においては，平均して 65% 程度の割合で移動物体を検出することができ，誤検出は 10%未満であった．

4. まとめと今後の課題

多視点画像に関する幾何学的な拘束条件を利用した移動点検出手法を提案した．多視点の画像を利用する提案手法は，動きの自由度が高いという特性をいかした，飛行型プラットフォームと非常に相性の良い手法であると考えている．また，小型クアドローターを実環境で飛行させ，提案手法の性能評価実験を行った．複数の歩行者が存在する実環境下での実験では，抽出された特徴点から移動点だけを正しく識別することができ，提案手法の有用性が示された．課題として，移動点のクラスタリング手法や，移動体のトラッキング手法が挙げられる．

参考文献

- [2] Klein, G., Murray, D.: Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces, Proceedings of 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2007), pp. 225-234, (2007)
- [2] Lucas, D. B. and Kanade. T.: An iterative image registration technique with an application to stereo vision, In Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 674-697, (1981)
- [3] 奥富正敏, 清水雅夫: デジタル画像処理, 財団法人 画像情報教育振興協会 (CG-ARTS 協会), (2004)

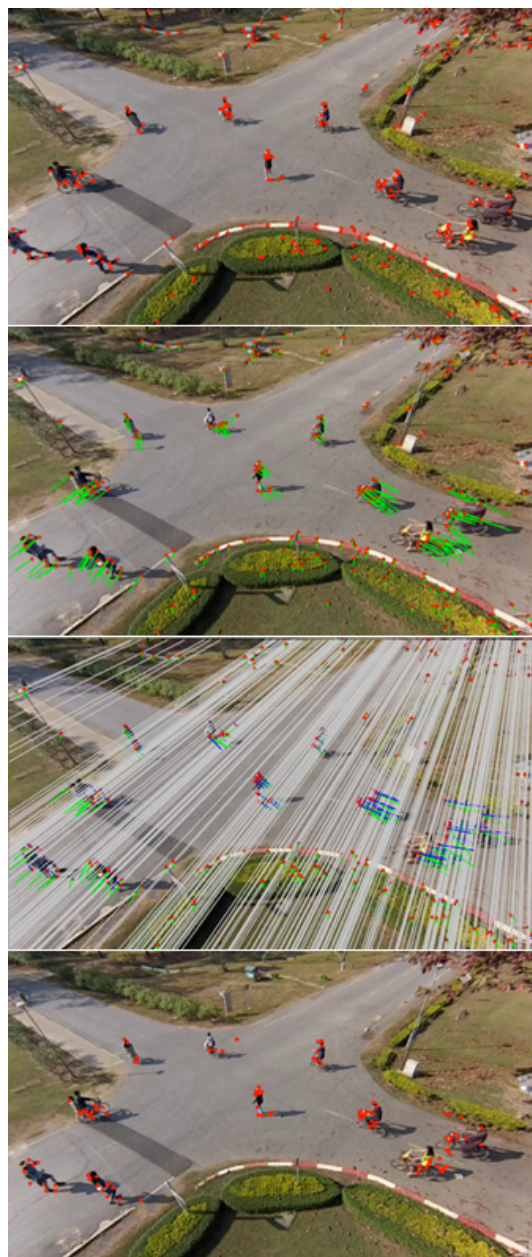


図 3. 1 番目：抽出された特徴点（赤），2 番目：続く画像において抽出された特徴点（赤）および特徴点追跡の結果（緑），3 番目：各特徴点に対応するエピポーラ線（白）および特徴点からエピポーラ線に下ろした垂線（青），4 番目：移動点として検出された特徴点（赤）