

移動するステレオカメラによる オプティカルフローを用いた複数移動物体検出

○戸田哲郎(中央大学) 増山岳人(中央大学) 梅田和昇(中央大学)

1. 序論

近年、移動ロボットの自律化や自動車の自動運転を実現するために、画像処理を応用し環境や障害物を認識する研究が盛んになっている。このとき、移動するロボットや自動車に載せたカメラから得た画像上では、移動物体と背景が共に動いて見える。そのため、単純な背景差分法[1]では移動物体の検出は困難である。これに対し、胡ら[2]はカメラの運動解析を行い、その結果から背景の動きを補正することで移動物体の検出を行っている。また、Rodriguez ら[3]は PTAM[4]により推定されるカメラの運動パラメータを利用する手法を提案している。移動物体は、運動パラメータ及び画像から得られるオプティカルフローを比較することで検出される。これらの手法はカメラを自動車や UAV に載せることを想定しており、カメラの運動や向きを限定している。カメラ運動等を限定しない手法としてオプティカルフローの消失点を利用した手法[5]があるが、カメラと移動物体が同一方向に移動しているときに検出ができない。

本研究では、ステレオカメラを用いて三次元座標を取得することでカメラの動きや向きを限定しない移動物体検出を提案する。画像中のオプティカルフローは 2 次元の画像変換で表すことができないが、3 次元の情報があれば表すことができる。これにより、個々のオプティカルフローに対して推定したオプティカルフローを求めることができるようになる。

2. 移動物体検出

2.1 手法概要

提案手法の流れを図 1 に示す。始めに、隣接する 2 フレームの画像に対してそれぞれ特徴点を検出する。検出された特徴点に対し 2 枚の画像間で対応点探索を行い、オプティカルフローを抽出する。次に、対応づけられた特徴点の 3 次元座標を求める。さらに、その値を用いてカメラの運動パラメータを推定する。最後に、推定した運動パラメータから現在の画像の特徴点に対してオプティカルフローを推定する。以後、この推定したオプティカルフローを推定フローと呼ぶ。推定フローを用いて、しきい値処理により背景のオプティカルフローを除去することで、移動物体が検出される。

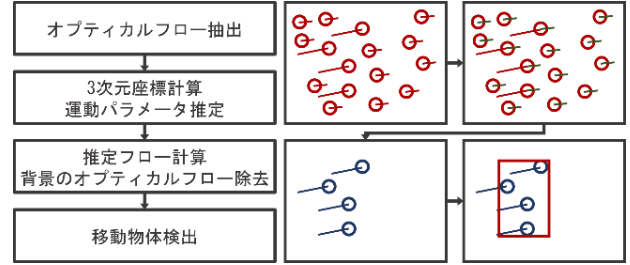


図 1 提案手法の流れ

2.2 オプティカルフロー

本研究では AKAZE[6]アルゴリズムによって特徴点を検出し、それらを 2 画像間でマッチングしたときの特徴点の移動ベクトルをオプティカルフローとする。AKAZE は画像のブラー、回転、スケール、輝度の変化に頑健な特徴量の抽出が可能であり、移動するカメラから取得した画像に対して有効である。

2.3 運動パラメータ

2 画像間でのカメラの運動は、回転行列 R と並進ベクトル t で表される。これらを運動パラメータと呼び、次式で表される。

$$R = \begin{bmatrix} 1 & -\gamma & \beta \\ \gamma & 1 & -\alpha \\ -\beta & \alpha & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$t = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ただし回転行列について、回転運動が微小であると仮定することで近似している。また、 α, β, γ はそれぞれ図 2 の X, Y, Z 軸周りの回転角である。

現画像のある特徴点 p の 3 次元座標を $P = [X \ Y \ Z]^T$ 、特徴点 p とマッチングした前画像の特徴点 p' の 3 次元座標を $P' = [X' \ Y' \ Z']^T$ とする。このとき、 P と P' の関係は運動パラメータ R, t を用いて次式で表せる。

$$P = RP' + t \quad (3)$$

運動パラメータは、特徴点の対応を複数見つけ、式 (3)を用い、最小二乗法によるフィッティングを行うことで求める。このとき、2 画像間の特徴点の対応結果に誤マッチングや移動物体によるはずれ値が含まれるため、RANSAC を用いてこれらを取り除く。

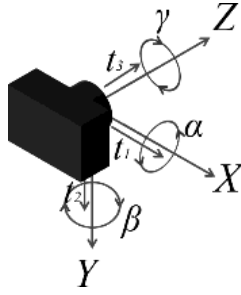


図2 カメラの運動パラメータ

2.4 背景のオプティカルフロー除去

計算した推定フローを用いて、しきい値処理により背景のオプティカルフローを除去する。しきい値は、推定フローの端点とオプティカルフローの端点のユークリッド距離に設定する。この値が小さければ背景のオプティカルフローとして除去する。

2.5 移動物体検出

移動物体を個別に検出するために、抽出した移動物体のオプティカルフローの特徴点をラベリングする。ラベリングの流れを図3に示す。特徴点 I_{ij} 間の三次元空間における距離を D_{ij} 、距離のしきい値を D_{th} としたとき、以下の式が成り立つ特徴点のペアには同一のラベルを与える。

$$D_{ij} \leq D_{th} \quad (4)$$

同一のラベルが付与された特徴点全てを囲う最小の矩形を移動物体の検出結果とする。

ただし、誤検出を減らすために、

1. 各ラベルについて、特徴点数が少ない場合は、誤マッチングによるオプティカルフローとして除去 (図4(a))

2. 検出矩形の面積が大きいほど、多くの特徴点が含まれると仮定し、面積の大きさに対して特徴点数が少ないときは誤検出として除去 (図4(b))

を行うものとする。したがって、特徴点数 n に対して以下の式が成り立つ場合、その矩形を移動物体の検出結果とする。

$$n \geq \frac{S}{S_{th}} + n_{th} \quad (5)$$

ここで除去されないために必要な特徴点数を n_{th} 、矩形の面積を S 、特徴点1つに対する矩形の面積を S_{th} とする。

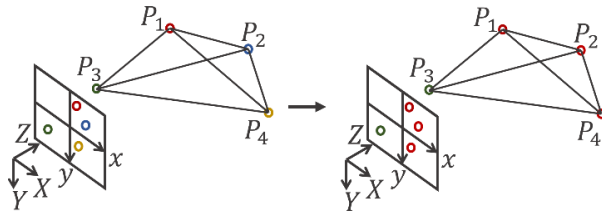
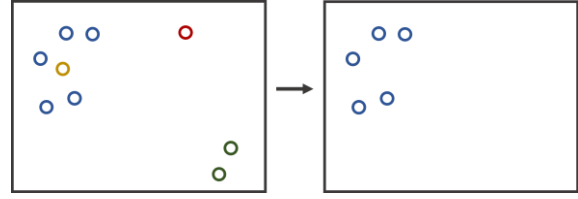
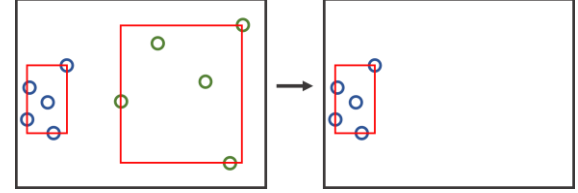


図3 三次元座標によるラベリング



(a) 少数ラベルの除去



(b) 矩形面積による除去

図4 特徴点のラベリングと除去

3. 移動物体検出実験

本手法の有効性を検証するために、図5(a)に示すシーンの動画像に対して移動物体検出を行った。移動物体は歩行者2名とし、カメラを左右にパンさせたときに歩行者が検出されるかを検証した。

背景のオプティカルフローの除去のしきい値は4[pixel]とした。また、ラベリング時のしきい値 D_{th} は0.8[m]、誤検出除去のしきい値 n_{th} 、 S_{th} はそれぞれ3, 3600[pixel²]とした。

図5(b)は画像から得られたオプティカルフロー(赤色)と推定フロー(緑色)である。また、図5(c)は移動物体検出の結果であり、検出した移動物体を赤い矩形で囲っている。

歩行者の検出率の結果を表1に示す。表1より、検出率は81.1%であった。2人の歩行者が並んで歩いている場合でも、概ね検出することができた (図5(c))。

未検出となった場合のほとんどは、オクルージョンが起こっていたり、ステレオカメラに近すぎたりなど、対象となる移動物体の距離値が取れないときであった。誤検出が多いのは、歩行者の近くに生じる背景に属するオプティカルフローが誤検出となっているケースが多かったためである。

4. 結論と今後の展望

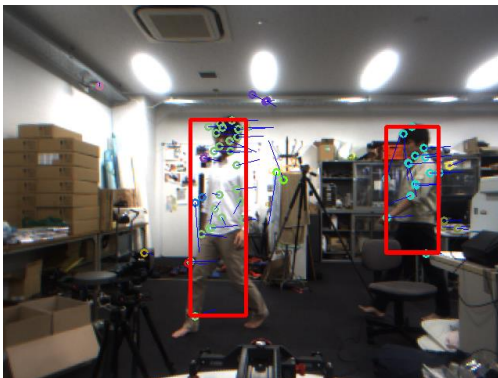
カメラが移動する場合において、ステレオカメラを用いてオプティカルフローにより移動物体を検出する手法を提案し、有効性を実験により示した。今後は、誤検出率の低減や検出率の向上を目指す。



(a) 実験シーン



(b) 抽出前のオプティカルフローと推定フロー



(c) 検出結果

図 5 移動物体検出実験

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Using a Single Camera,” Remote Sensing, Vol. 4, No. 4, pp.1090-1111, 2012.

- [4] G. Klein, D. Murray: “Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces,” Proc. of the 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 225-234, 2007.
- [5] 武田 信之, 渡辺 暁, 小野口 一則: “消失点推定残差法を用いた移動観測系からの移動体検出”, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 51, no. 2, pp. 241-242, 1995.
- [6] P. F. Alcantarilla, J. Nuevo, and A. Bartoli: "Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces," Proc. of BMVC13, pp.13.1-13.11, 2013.

表 1 検出率

フレーム数	検出率	誤検出率	未検出率
37	81.1%	26.4%	19.0%

参 考 文 献

- [1] 奥富 正敏他: デジタル画像処理, CG-ARTS 協会, 2015.
- [2] 胡 振程, 内村 圭一: “変動背景にける複数移動物体の検出及び同時追跡”, 電気学会論文誌 D (産業応用部門誌), Vol. 120, No. 10, pp. 1134-1142, 200.
- [3] G. R. Rodriguez-Canosa, S. Thomas, J. d. Cerro, A. Barrientos and B. MacDonald; “A Real-Time Method to Detect and Track Moving Objects(DATMO) from