

3Q-2

マッチング位置制約に基づくロバストな移動物体抽出追跡手法

奥田哲也†

富岡洋一†

北澤仁志†

†東京農工大学

Abstract

移動物体の頑健な抽出と追跡には、色情報だけでなく物体の形状情報を利用する必要がある。物体の形状が急激に変化しなければ、排他的ブロックマッチング [2] におけるマッチング位置がほぼ直線上に並ぶ。本研究では、このマッチング位置制約を利用した特徴点の対応検出手法を提案する。

1 はじめに

動画中の移動物体を頑健に抽出して追跡し、さらに詳細な部分の対応を正確に求めることは、行動認識の分野において重要である。そのためには、フレーム間の特徴点の対応を決める際に、カメラから得られる色などの視覚情報だけでなく物体の持つ形状情報も考慮した対応点問題を解かなければならない。形状恒常性を考慮して対応を探すため「評価値＝局所特徴量間の距離 (data term) + 物体の形状の変化 (smoothness term)」を最小化することで頑健性を向上させる手法が幾つか報告されている [1]。しかし上記の最小化問題は NP 問題となり厳密には解けないため、最急降下法、遺伝的アルゴリズムなどで近似解を求めるが、物体の形状が保存されている保証は無い。

本研究では、画素がブロックに量子化されていて排他的に対応する場合に、コスト行列上のマッチング位置がほぼ直線上に並ぶことを利用した、頑健な特徴点の対応の検出手法を提案する。実験では、図 2 のような光源の反射があるシーンにおいて、正しくフローを得ることができた。また、上記の最小化問題を遺伝的アルゴリズムを利用して解いた手法 [4] と比較し、より良いマッチング結果をより少ない計算時間で得ることが出来た。

2 排他的ブロックマッチング [2]

動画中の連続する 2 つのフレーム間において格子状に区切られたブロックの対応関係を調べるにより、フローを検出する手法である。まず、前フレーム (Prev) と現フレーム (Curr) の画像の全ブロックを 1 次元的に並べる。次に、ブロックの相違度 (HSV ヒストグラムと HOG の Bhattacharyya 距離) を利用し、合計コストを最小化するように 1 次割当問題を解いて対応関係を求める。また、オブジェクト番号を付けて物体を区別し、各物体の形状を保つようにコストを調整している。図 1 のコスト行列では、背景 (Bg) や新しい物体の出現 (Create) も考慮して、行列を拡張している。

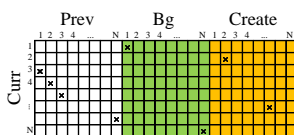


図 1 コスト行列

得られた対応関係から、フローをベクトルで表現することができる。固定カメラにおけるフロー抽出結果を図 2 に

示す。

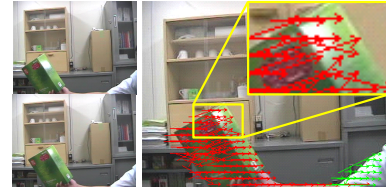


図 2 形状を考慮しない場合のフロー抽出結果

図 2 の結果ではマッチングが正しく取れなかった部分がある。これは箱への光の当たり方が変化していることが原因である。提案手法では、画像中の視覚情報よりも物体の形状情報を優先的に利用してマッチングを得ることで、図のような誤フローを減らすことができる。

3 コスト行列におけるマッチング位置の並び方

物体の形状が急激に変化しないならば、前節で説明したコスト行列上において、マッチング位置は直線上に並ぶ傾向がある。厳密には移動が高速であったり回転を含んだりする場合は直線とはならないが、その移動量が小さければブロック量子化に吸収され直線とみなすことができる。

$\mathbf{X}_t = [X_t \ Y_t \ Z_t \ 1]^T$  を時刻  $t$  における物体上の 1 点のワールドの同次座標、 $\mathbf{x}_t = [h_t x_t \ h_t y_t \ h_t \ 1]^T$  を同点に対応するスクリーン座標、 $P$  を射影行列、 $PA = P[R|t]$  を透視射影行列とする。ただし、 $P = \text{diag}(f, f, 1, 1)$  である。また、カメラは原点で固定 ( $A = I$ ) とすると

$$\mathbf{x}_t = PAX_t = P\mathbf{X}_t \tag{1}$$

これより、ワールド座標からスクリーン座標への対応は次のように書ける。

$$x_t = \frac{fX_t}{Z_t}, \quad y_t = \frac{fY_t}{Z_t} \tag{2}$$

次に、Prev の時刻を  $t$ 、Curr の時刻を  $t + \Delta t$  とおく。時間差が微小であれば  $x_t$  は微分の定義式より

$$\frac{dx_t}{dt} = \frac{x_{t+\Delta t} - x_t}{\Delta t} \tag{3}$$

と表せ、これより Curr と Prev の関係は

$$x_{t+\Delta t} = x_t + \frac{dx_t}{dt} \Delta t \tag{4}$$

となる。 $y_t$  についても同様である。

物体の移動を表す行列を  $B(t)$  として次のように定義する。

$$\mathbf{X}_t = B(t)\mathbf{X}_0 \tag{5}$$

例えば、平行移動する物体は次のように表現できる。

$$B(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & v_x t \\ 0 & 1 & 0 & v_y t \\ 0 & 0 & 1 & v_z t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

また、移動物体は大きさを持つので、複数の点の集まりと考える。 $X_t, Y_t, Z_t$  はそれぞれ  $X_a \leq X_t \leq X_b, Y_a \leq Y_t \leq Y_b, Z_a \leq Z_t \leq Z_b (Z_a > 0, Z_b > 0)$  の範囲の値を

Robust Moving Object Extraction and Tracking Method Based on the Matching Position Constraints  
Tetsuya Okuda†, Yoichi Tomioka† and Hitoshi Kitazawa†  
†Tokyo University of Agriculture and Technology

取るものとする。

続いて、式 (2), (4), (5), (6) をまとめると

$$\begin{aligned}
 x_{t+\Delta t} &= \left(1 + \frac{v_x \Delta t}{X_t}\right)x_t - \frac{v_z \Delta t}{fX_t}x_t^2 \\
 y_{t+\Delta t} &= \left(1 + \frac{v_y \Delta t}{Y_t}\right)y_t - \frac{v_z \Delta t}{fY_t}y_t^2
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

となり、二次の項が存在しマッチング位置は直線状とはならないが、二次の項によって  $x_{t+\Delta t}, y_{t+\Delta t}$  の動く範囲がスクリーン上のブロックの大きさ  $\delta$  の半分未満となれば、直線近似ができる。すなわち次の条件となる。

$$\begin{aligned}
 |v_z \Delta t f \left(\frac{X_b}{Z_a^2} - \frac{X_a}{Z_b^2}\right)| &< \frac{\delta}{2} \text{ かつ} \\
 |v_z \Delta t f \left(\frac{Y_b}{Z_a^2} - \frac{Y_a}{Z_b^2}\right)| &< \frac{\delta}{2}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

次に、CG 合成した物体を式 (8) の範囲で動かしてマッチング位置が直線となっているか確認する。結果の図 3 を見ると、マッチング位置は直線形に近い曲線上に乗っていることがわかる。

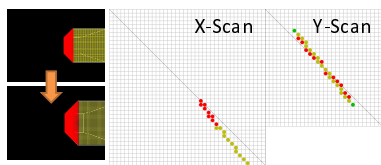


図 3 CG 合成した物体のマッチング位置

ここで、X-Scan, Y-Scan とは、疎らであるマッチング位置をコスト行列上の第一区画に集めることで、X 方向、Y 方向それぞれの動きを強調したものである [3].

#### 4 コスト行列へのマッチング位置制約適用

前節の結果より、マッチング位置が直線上に並ぶため、割当問題を解く段階で、はじめから取り得るマッチング位置を制限することで、物体の形状を保ったマッチングをすることができる。

1 次割当問題をハンガリアン法で解くとき、各行に少なくとも一つ 0 が存在する状態となる。この 0 成分の並びから直線を検出して、マッチング位置を検出された直線上だけに制限するようにすれば良い。しかし直線上にあってもコストが大きい部分は除外して、再度ハンガリアン法を適用する。次に示す条件でコスト値を変化させた後、ハンガリアン法の手順を進める。

- (a) 直線に乗る成分は、コスト値を維持する。
- (b) 直線に乗らない 0 成分は、対応するブロックの類似度が一定値以上ならば、コスト値を維持する。
- (c) (a),(b) に当てはまらない成分は、コストを無限大とし、マッチングしないとする。

以上のようにマッチング位置を直線形に制限することで、物体の形状を保つようなブロックの対応関係を得ることができる。

#### 5 実験

マッチング位置を制限することによるフローの修正例を図 4 に示す。直線検出手法は RANSAC を使い、前節における 0 成分が 4 つ以上連続している場合を直線とした。図を比較すると、マッチング位置を制限した方はコスト行列上の直

線からの外れ点がなくなり、誤フローの抽出がなくなっていることがわかる。

さらに、テンプレートマッチング (TM) への応用例を図 5 に示す。TM では、前フレームをテンプレートに置き換えることで、提案手法と同様の手法でマッチング位置を制限し、誤対応の抽出を減らすことができる。遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて形状情報を考慮する手法 [4] と比較し、合計成功フレーム数を上回り、計算時間も減らすことができた。なお、TM では両手法ともに、画像特徴量として HOG Context[4] を利用している。

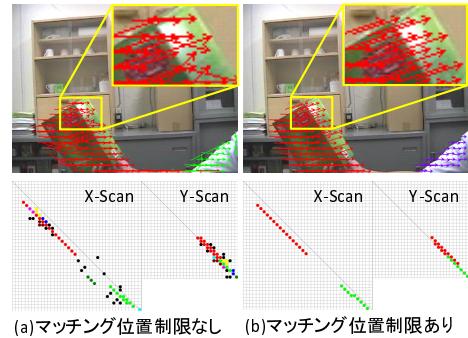


図 4 フロー抽出実験結果

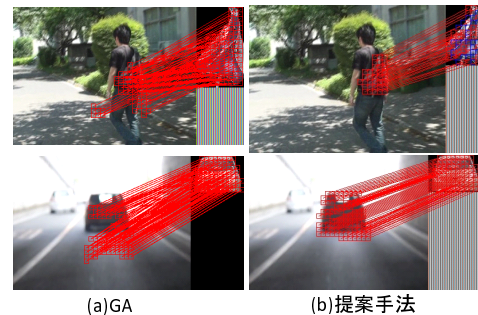


図 5 TM の実行結果

表 1 TM の成功フレーム数と計算時間の比較

データ	フレーム数	GA	提案手法
David Indoor	761	<b>761</b>	<b>761</b>
David Outdoor	112	<b>109</b>	<b>109</b>
Backpacker	109	97	<b>109</b>
Road Bridge	63	<b>60</b>	59
合計	1045	1027	<b>1038</b>
計算時間 [s/frame]		11.648	<b>3.370</b>

#### 6 まとめ

排他的ブロックマッチングのマッチング位置の並び方の規則性に着目し、とりうる解に制約を入れることで、物体の形状を保つようなブロックの対応関係を得ることができた。また、テンプレートマッチングの結果を別の手法と比較し、より少ない計算時間でより良い結果を得ることができた。今後の課題は、物体の位置を予測することでより正確にマッチングを得ることである。

#### 参考文献

- [1] S. Caetano et al. "Learning Graph ...", ICCV, 2007
- [2] Z. Li, et al, "Exclusive ...", IEICE Trans. D, May 2010
- [3] Okuda, et al, "マッチング...", ITE 年次大会, Aug 2013
- [4] Z. Li, et al, "Template ...", IEICE Trans. D, Aug 2012