

イメージセンサ上での動物体の速度検出処理方式

Processing of Velocity Detection on Smart Image Sensor

吉田 崇†

杉田 俊超†

浜本 隆之†

Takashi Yoshida

Toshiyuki Sugita

Takayuki Hamamoto

1. はじめに

動物体の追跡には、ブロックベースのマッチングによる方式を用いるのが一般的である。しかし、ブロックサイズは映像によりその最適値が異なり、それを適応的に制御するためには複雑な処理が必要である。

本稿では、イメージセンサ上に集積した処理回路を用いることで、オンセンサ処理の特長を十分に利用した動物体の位置及び速度を検出する方式について提案する。具体的には、高速撮像下ではフレーム間相関が高いことを利用し、フレーム間及び隣接する画素の対応関係から画素毎にオプティカルフローを検出し、動物体の動き方向を推定する。また、フレームレートを制御することで、動物体の2次元方向の速さを取得する。さらに、焦点外れ情報を組み合わせることで奥行き方向の検出も可能であるが[1][2]、本稿では2次元の動きについてのみ議論する。この方式の特徴は、センサ上で処理が完結するために高速処理が可能な点と、画素単位での制御が可能である点である。我々が従来から検討している高機能イメージセンサは、毎秒1000フレーム以上での動作が可能であるため、被撮像物体の移動速度に対して十分高速に動作し、移動物体の探索範囲を近傍画素のみに制約する。この拘束条件から、画素単位での簡易な処理が実現され、精度の向上も期待できる。

2. センサ上での速度検出処理方式

2.1 2次元方向の動き検出

実空間で3次元的に移動している動物体は、画像平面上では2次元情報として投影される。このときの2次元方向の動き検出を行う。動き検出は、複数フレームの差分により求められる。即ち、フレーム f 及び $f-1$ で各画素に対して式(1)を求めればよい。

$$d_{x,y} = |I_{f;x,y} - I_{f-1;x,y}| \quad (1)$$

ここで、 d はフレーム f 及び $f-1$ に於ける画素 (x,y) の輝度差である。この d は画像中の輝度値の時間的な変化を反映するため、これにより物体の動きが検出できる。しかし、 d のみでは動物体の移動方向や速さは決定できない。そこで、

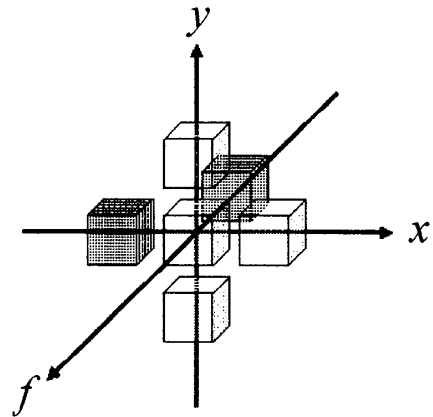


図1 オプティカルフロー検出

各画素単位で速度を検出するために、図1に示すように、隣接フレームを X , Y 方向にそれぞれ1画素シフトさせた場合の差分を式(2)により取得する。シフト量を1画素とする拘束条件は、高速撮像によりフレーム間での対象物体の移動が1画素以内であるとの仮定により成立する。

$$m_{up} = |I_{f;x,y-1} - I_{f-1;x,y}| \quad (2a)$$

$$m_{down} = |I_{f;x,y+1} - I_{f-1;x,y}| \quad (2b)$$

$$m_{left} = |I_{f;x-1,y} - I_{f-1;x,y}| \quad (2c)$$

$$m_{right} = |I_{f;x+1,y} - I_{f-1;x,y}| \quad (2d)$$

物体が該当する方向に動いている場合、互いの輝度値が近くなるため、これらの値は d より小さくなる。これは画素単位でオプティカルフローを検出していることと同等である。

オプティカルフロー検出はオンセンサ化を念頭に置き、垂直・水平方向で独立に行う。フレーム間での画素の相関値が高いものほど差分値は小さくなるため、式(3)に示す行列中の要素が最小を示す方向へ移動したと推定できる。

$$M_{vertical} = \begin{bmatrix} m_{up} & d & m_{down} \end{bmatrix} \quad (3a)$$

$$M_{horizontal} = \begin{bmatrix} m_{left} & d & m_{right} \end{bmatrix} \quad (3b)$$

† 東京理科大学大学院工学研究科電気工学専攻

本方式は、フレーム内での隣接輝度値が同一であるような平坦領域では、動領域を検出することは出来ない。従って、前段にてエッジ強度を検出し、垂直・水平それぞれのエッジについて $M_{vertical}$ または $M_{horizontal}$ を計算する。

2.2 可変フレームレートによる正確な速度検出

2.1にて提案した方式により、動物体の2次元方向での移動方向を検出できる。この方式では、フレーム間で動物体が1画素移動した場合が理想的な判定環境となる。即ち、検出可能な動物体の移動速度とフレームレートには相関関係があり、フレームレートを変化させた場合には、動領域として抽出される速度域が変化する。従って、図2に示すように、高速撮像状態から段階的に速度を低下させ、多段階で動物体検出を行うことで、より正確な速度を検出する。センサ内では画素単位でフレームレートを制御することが容易であり、提案方式はオンセンサに適しているといえる。

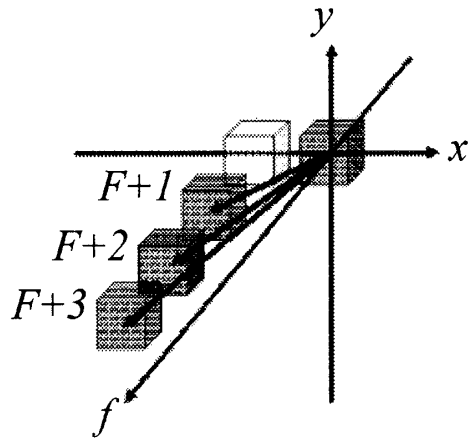


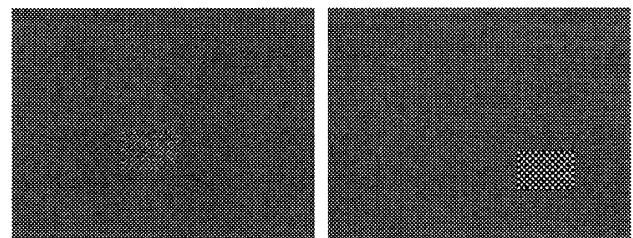
図2 可変フレームレートによる速度検出

3. 評価実験

評価に用いたシミュレーション画像の一部を図3に示す。この画像中の物体は1フレームの間に右方向に1画素、下方向に1/4画素だけ等速に移動し、焦点外れの大きさも変化する。シミュレーション画像を用いた2次元方向の速度検出の評価結果を図4に示す。この図は、動物体の移動方向及び速度を輝度値として示したものである。垂直・水平方向の結果に於いて、背景の輝度値より明るい画素は左・下方向、暗い画素は右・上方向への移動を示し、背景値との輝度差が大きいほど速度が速いことを示す。この画像から、2次元方向の移動検出結果が良好に得られていることが分かる。また、高速カメラにて毎秒1000フレームで撮像した実画像に於ける結果を図5に示す。図5(a)は原画像であり、2つの動物体が異なる方向へ移動している。図5(b)から異なる方向・速度で移動する物体が検出されていることが分かる。

4. まとめ

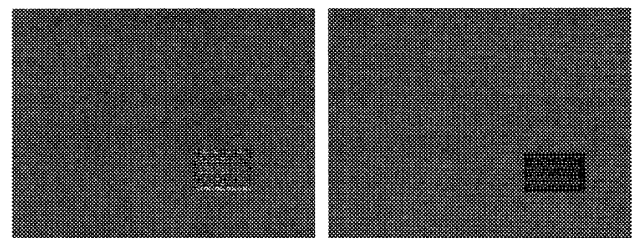
本稿では、動物体の抽出とその2次元方向の速度検出の方式について提案した。本方式はオンセンサ化に適しており、画素単位でオプティカルフローを検出し、フレームレートを変化させることで2次元方向でのより正確な速度検出が可能である。なお、奥行き方向の検出は焦点外れを用いた判定処理を行うことで実現できる。今後の課題として、奥行き方向の検出や精度評価法の検討、実装に向けた具体的な回路の検討が挙げられる。



(a)焦点外れ状態

(b)合焦状態

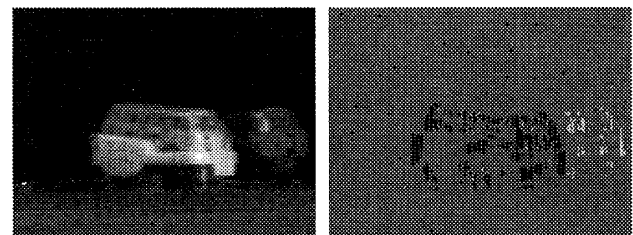
図3 シミュレーション用画像



(a)垂直方向

(b)水平方向

図4 2次元方向速度検出結果



(a)原画像

(b)検出結果

図5 実画像による2次元方向速度検出結果

参考文献

- [1]内藤将彦, 児玉和也, 相澤清晴, 羽島光俊:“複数の異なる焦点画像からの焦点外れ画像の生成を利用した全焦点画像の強調的取得”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J79-D-II, No. 6, pp. 1046-1053, 1996-6
- [2]T.Yoshida, A.Yokota, H.Kashiyama, T.Hamamoto:“Smart image sensor for high-speed in-focus detection”, IEEE Int. Conf. on Image Processing (ICIP '04), CD-ROM, 4pages, 2004-10