

時間相関イメージセンサにより得られた オプティカルフローに基づく物体の追跡

大石 剛[†] 本谷 秀堅[†]

[†]名古屋工業大学工学部情報工学科

1 概要

実時間高密度なオプティカルフローの計算を実現する時間相関イメージセンサが提案されている [3]. このセンサを用いると, 各ピクセルにおいて, オプティカルフロー拘束式を解くのに十分な情報を取得できる. このオプティカルフロー拘束式は時空間における輝度変化に線形性を仮定しているため, 対象が拘束に運動する場合などでは成立しない. 本稿では, 対象が高速に運動し, オプティカルフロー拘束が成立しない場合でも, 時間相関イメージセンサにより対象の運動を追跡できることを示し, 実証実験の結果を報告する.

2 時間相関イメージセンサとオプティカルフロー

まず, 時間相関イメージセンサによるオプティカルフローの計測法の概略を述べる.

2.1 オプティカルフロー拘束式

センサが検知する照度を $f(x, y, t)$ で表す. 移動前後で輝度変化が無いことを仮定すると, $f(x, y, t)$ の時間微分はゼロとなる. このことから次式が得られる.

$$\frac{d}{dt}f = \left(\frac{\partial x}{\partial t} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial t}\right)f = 0 \quad (1)$$

$\partial x/\partial t = v_x, \partial y/\partial t = v_y$ とおくことにより, 以下の式を得る.

$$(v_x \partial_x + v_y \partial_y + \partial_t)f(x, y, t) = 0 \quad (2)$$

この式はオプティカルフロー拘束式と呼ばれ, ベクトル場 $\mathbf{v}(x, y) = (v_x, v_y)(x, y)$ をオプティカルフローと呼ぶ. 式には求めたい未知数が二つ含まれており, 一方拘束式は1つであるため, この式だけではオプティカル

ローを算出できない. そこで従来法は, ベクトル場の滑らかさを仮定したり [1], 微小領域での局所最小二乗法を用いたり [2] することでオプティカルフローを推定していた. これらの手法は大域最適化のプロセスなどを含むため, 実時間処理には不適である.

2.2 時間相関イメージセンサ

時間相関イメージセンサは, 撮像素子上の各ピクセルにおいて, 外部から供給される参照信号と, シャッター開放中の照度の時間変化との時間相関を算出する半導体集積デバイスである. 参照信号として複素正弦波信号を与えると, 各ピクセル (x, y) において, シャッター開放中の照度平均 $g_0(x, y)$ と複素正弦波信号との相関 $g_\omega(x, y)$ を計測できる. これら計測値を用いると, 式 (2) のオプティカルフロー拘束式は次式のように書き換えることができる.

$$(v_x \partial_x + v_y \partial_y) \{(-1)^n g_0(x, y) - g_\omega(x, y)\} = j\omega g_\omega(x, y) \quad (3)$$

オプティカルフロー恒等式と呼ばれるこの恒等式は, 実部と虚部の2本の方程式より成る. このため, 各ピクセルにおいて, 未知数 (v_x, v_y) を一意に決定することができる. 図1に時間相関イメージセンサにより実時間で求めたオプティカルフローの例を示す.

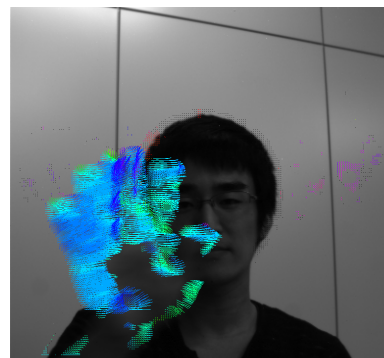


図1: 時間相関イメージセンサを用いて求めたオプティカルフロー

Go OISHI[†], Hidekata HONTANI[†]

[†]Department of Computer Science, Nagoya Institute of Technology

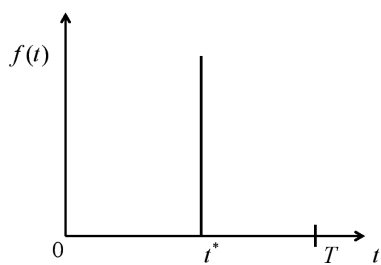


図 2: 時間を横軸, 照度を縦軸とする照度変化を表すグラフ, 時刻 t^* においてのみ値を持つインパルスとなる.

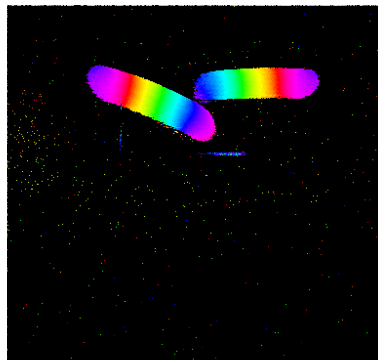


図 3: 位相スタンプ画像

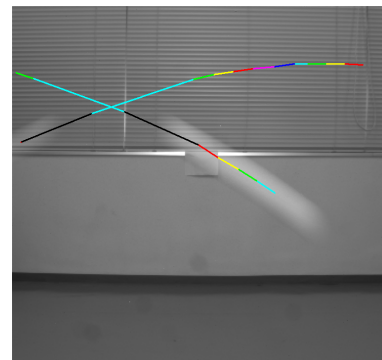


図 4: 実験結果

3 時間相関イメージセンサによる高速物体の追跡

対象が高速移動する場合, 式 (1) における時間微分や空間微分に関する線形の関係が成り立ちにくくなる. 特に, 空間微分はピクセル間の差分により近似計算されるため, 高速物体に対して算出されるフローの精度が低下する. ここでは, 高速移動物体については, 各ピクセルにおける位相情報を利用して追跡することを提案する.

3.1 位相によるタイムスタンプ

撮像対象が高速で移動する物体であった場合, シャッター開放中の照度変化は, 図 2 のグラフのようにインパルス状となって表れる. これをデルタ関数を用いて表すと, センサによって得られる相関画像は以下の式で表される.

$$\int \delta(t - t^*) e^{-j\omega t} dt = e^{-j\omega t^*} \quad (4)$$

これより, 位相 ϕ は $\omega t^* = \frac{2\pi t^*}{T}$ であり, t^* がとるフレーム時間 $[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}]$ において, $[-\pi, \pi]$ の位相分布として図 3 のように相関画像中に表れる. この通過時刻に沿った位相分布をたどることにより, 物体の追跡が実現可能である.

3.2 アルゴリズム

本稿では位相分布を一定の区間毎に分割し, それぞれの領域の重心同士を結んでいくことにより, 物体運動の軌跡を得ることを目標とした. 物体が交差する領域は位相分布による単純な関係付けが難しいため, 位相勾配を尺度とした対応付けを用いることとした. 基本的なアルゴリズムは以下の通りである.

1. 相関画像の実部と虚部から位相を計算
2. $[-\pi, \pi]$ の範囲で発生する位相を $\frac{\pi}{3}$ 毎に分割しラベル付け

3. 各位相領域の対応する重心を順番に線分で連結

4. 交差部は位相勾配とベクトルのなす角を比較し対応点を決定

4 実験

図 4 は, 実際に時間相関イメージセンサを用いて撮影した動画に, 3.2 節のアルゴリズムを実装した結果である. 交差するように運動するボールに対して, 交差部でも適切に軌跡を捉えられていることが確認できる. 実時間で処理が可能であるため, 物体追跡に十分利用可能であると考えられる.

5 結論

本研究では時間相関イメージセンサにより得られた位相スタンプ画像を用いて物体の追跡を行った. 位相によるタイムスタンプを追うことで, 高速物体に対する追跡が可能であることを示した. 今後は, より多くの高速移動物体の追跡を可能とする手法を検討する.

参考文献

- [1] Horn, B.K.P. and Schunk, B.G.(1981). Determining optical flow. In *Artificial Intell.*, vol.17, pp.185-203
- [2] Lucas, B.D. and Kanade, T.(1982) An Iterative Image Registration Technique with an application to stereo vision In *Proc. 7th IJCAI*, pp.674-679
- [3] Ando, S. and Wei, D.(2009). EXACT ALGEBRAIC METHOD OF OPTICAL FLOW DETECTION VIA MODULATED INTEGRAL IMAGING theoretical formulation and Real-time Implementation using Correlation Image Sensor. In *VISAPP 2009*, pp.480-487