

## 要旨

近年、コンピュータの高速化にともない動画像による計測が盛んに研究されるようになってきた。本研究は動画像による被写体の3次元運動と構造の復元を最終目標とする。本報告ではその基礎研究としてオプティカル・フローを用いた奥行き情報の計測を提案する。

## 1. はじめに

画像から得られる情報量は極めて多く画像計測には様々な応用分野が考えられる。特に動画像計測では単位時間当たりの測定情報量が多く、例えば自動走行車の「目」にあたるセンサー等では処理速度が重要になる。

処理時間に関してはコンピュータの高速化により、最近では例えば30Hzで得られる画像をリアルタイムで十分に処理できるため、動画像による計測が盛んに研究されるようになってきた。

本研究は2次元画像の時系列から得られる速度分布(オプティカル・フロー、以下フローとする)を用いて、被写体の3次元構造と運動を両眼カメラで復元することを最終目標とする。

本報告ではその要素研究として、生体の固視微動に着目し、フローを利用してCCDカメラから被写体までの距離情報(奥行き情報)を計測する方法を提案する。

## 2. オプティカル・フローの計測

## 2.1 拘束条件

速度場計測における基本拘束条件を数式で表現すると以下のようになる。

$$uE_x + vE_y + E_t = 0 \quad (1)$$

ただし点 $(x, y)$ の輝度を $E(x, y, t)$ とし、 $E_x, E_y, E_t$ はそれぞれ輝度の $x, y$ 及び時間 $t$ に関する偏微分を表す。 $u, v$ は画像上の速度成分(フロー)を表す。

基本拘束条件式(1)のみでは未知数 $u, v$ を求めることが出来ない。

ここでは「測定点近傍(近傍領域 $\Gamma$ )において速度場はほぼ一定」とする局所最小二乗法<sup>2)</sup>を付加拘束条件として採用する。

すなわち以下の誤差の2乗積分を最小化する $u, v$ を求める。

$$J = \iint_{\Gamma} (E_x u + E_y v + E_t)^2 dx dy \quad (2)$$

式(2)を $u, v$ について偏微分し、正規方程式を $u, v$ について解けば次式を得る。

$$u = \frac{S_{yt}S_{xy} - S_{xt}S_{yy}}{S_{xx}S_{yy} - S_{xy}^2}, \quad v = \frac{S_{xt}S_{xy} - S_{yt}S_{xx}}{S_{xx}S_{yy} - S_{xy}^2} \quad (3)$$

ただし、 $S_{ij} = \iint_{\Gamma} E_i E_j dx dy$  ( $i, j = x, y, t$ )である。

また、算出された値に対し以下のような自己評価量が提案されている<sup>2)</sup>。

$$J_{DET} = S_{xx}S_{yy} - S_{xy}^2 \quad (4)$$

$$J_{ERR} = \frac{(S_{xx} + S_{yy})(uS_{xt} + vS_{yt} + S_{tt})}{J_{DET}\Gamma} \quad (5)$$

$J_{DET}$ は式(3)の分母で解の安定性を評価する量、 $J_{ERR}$ は測定誤差分散の見積もりを示す。

本報告では近傍領域 $\Gamma$ は、アルゴリズムの単純性、高速性を考慮して各測定点を中心とする適当な大きさの「正方形」とする。

画像内すべての測定点を処理する場合、物体の境界を含む正方形領域を近傍領域 $\Gamma$ とする状態が存在する。この場合、物体境界付近で不適当なフローが算出される可能性がある。

## 2.2 エッジ情報を利用した測定

そこでゼロ交差法を用いてエッジを算出し、そのエッジ情報に基づいて測定点の信頼性をしめす新たな量を導入する。<sup>1)</sup>

ゼロ交差法は画像に対し平滑化としてガウシアンオペレータ、2階微分としてラプラシアンオペレータを用意し畳み込み演算を行う。その値が0になる点をエッジとして扱う。

次に距離オペレータを用意し、各測定点からエッジまでの距離を算出する。

得られた距離情報 $D$ は、物体境界を越えた不適当な正方形でフローを算出したかどうかを示す指標となる。

## 3. オプティカル・フローによる奥行き情報の計測

## 3.1 生体における固視微動

人間の目は凝視しているときでも無意識のうちに絶えず微小運動を繰り返している。これは不随意の固視微動と呼ばれている。その振動の周波数は平均70~90Hz、振幅は人間の網膜に換算すると1~1.5個の視細胞に相当する。

この固視微動は網膜上の物体像の輪郭部を、その周辺の1視細胞分の幅を常に刺激することによって、強調していると考えられている。

### 3.2 奥行き情報計測への応用

固視微動のような微小振動によって得られる画像には「画像内の画素全体が任意の方向に微小移動している」傾向と「測定機器（CCD カメラ）に近い測定物ほど画像上で大きく移動する」という単純な原理がある。このことは、自ら振動している CCD カメラから被測定物までの絶対的な距離を算出することが可能なことを意味する。

画像全体をくまなく速度場算出をしつつ走査していき、画素単位以下の測定ができる時空間微分法によるフロー測定は、このような画像を有効に利用した測定法の一つと考えられる。

そこで本報告では、自ら振動するカメラを用いたフローによる奥行き情報の測定法を提案する。

### 3.3 測定方法

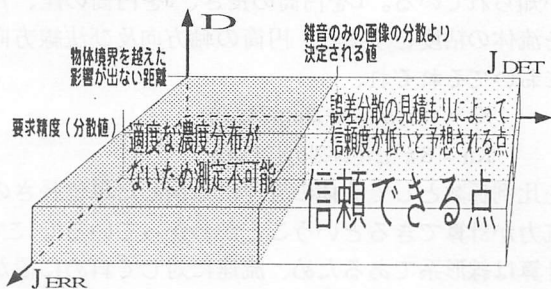


図1 測定点の分類

以下にその手順を示す。

1. 2.1節, 2.2節で述べた方法によってフローを算出する。
2. x 方向の成分  $u$  のみを抽出する
3. 点の分類に応じた平均化処理をする。

点の分類とは、2.1 節で述べた評価量  $J_{DET}$ ,  $J_{ERR}$  の他に 2.2 節で述べた指標  $D$  を考慮して決定される (図1 参照)。

### 4. 実験

本報告の実験では PC によって制御されるスライドテーブル上に CCD カメラを載せた装置を使用した。基礎実験であるため被測定物は静止物体とし、テーブルを微小に移動することによってフローを算出した。被測定物として模様をついた板を使用し、徐々にカメラから離していく (約 50mm おき)。また CCD から約 150mm の地点を奥行き原点とする。

奥行きとフロー値がほぼ反比例の関係であり、漸近線は奥行き約 150mm にあると考えられるので測定結果は奥行きを表現しているといえる。

微小な振動による画素単位以下のフロー値も表現されている。しかし測定値にばらつきがある。特にフロー値が大きい奥行きに著しい。標準偏差の最大値は 0.12 (図2), 0.048 (図3), 0.34 (図4) であった。

### 5. 考察

測定値はフローとしての要求精度 (ただし分散値) は満たしている。追加実験として要求精度を高くしてみると、有効な測定点が大幅に減少する。

これらの実験結果よりフローによる測定には画像のノイズ分布や画像の空間周波数に大きく依存するため、上記で

述べた方法を採用しても微小な振動に対する算出精度には限界があると考えられる。

改善法の一つとして、この一眼カメラによる奥行き情報を二眼カメラによる対応探索の一つの情報として用いる方法が考えられる。つまり 1 枚の画像から得られる特徴量だけでなく、動画像 (複数枚の画像) から得られる新たなパラメータも使い対応点探索をする方法である。

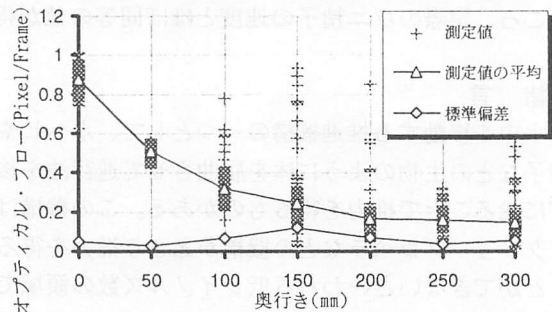


図2 測定結果 (移動量 1mm, 要求精度 0.1)

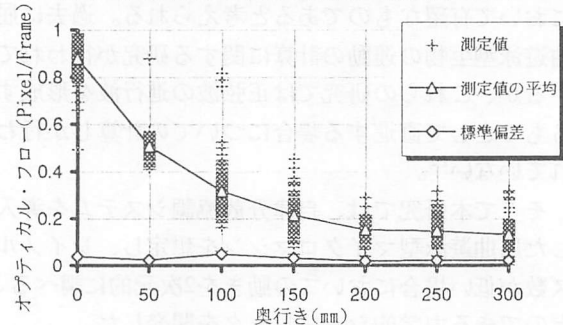


図3 測定結果 (移動量 1mm, 要求精度 0.05)

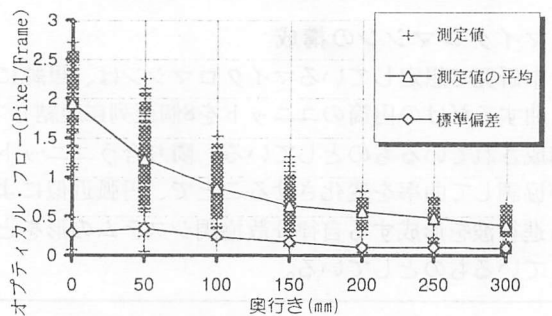


図4 測定結果 (移動量 2mm, 要求精度 0.1)

### 6. おわりに

本報告では生体の固視微動に着目したオプティカル・フローによる奥行き情報計測法を提案し、その基礎実験を行った。

結論として本測定法はカメラの振動振幅 (フローの大きさに影響する), 要求精度 (有効なフローの個数に影響する) を適当にすることによって有効な方法と考えられる。

今後は二眼による奥行き情報測定, ならびにフローを用いて三次元運動の測定を行う予定である。

### 参考文献

- 1) 安藤康臣: 1995 年度精密工学会春季大会学術講演会論文集, p235
- 2) 安藤 繁: 計測自動制御学会論文集, 22,12(1987)1330.
- 3) 清水嘉重郎: 生物の目とセンサ, 情報調査会.