

要旨

動画像から正確な速度場（オプティカル・フロー）を計測するために、エッジ情報を利用した速度場算出法を提案する。本報告では提案する算出法を紹介し、シミュレーション結果と実画像による実験結果を示し、提案する方法の有効性を実証する。

1. はじめに

近年、動画像より被写体の3次元構造と運動を復元する研究が計算機視覚（computer vision）の研究を中心として数多く報告されている。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）を用いて、被写体の3次元構造と運動を復元することを最終目標とする。

本報告では被写体の3次元構造と運動を復元するために、エッジ情報を利用してより正確なオプティカル・フローを算出する方法を提案する。

2. 速度場計測における基本拘束条件と付加拘束条件

速度場計測における基本拘束条件は以下のように与えられる。

微小時間内の移動に対して各点の輝度は変化しない。

画像に対してこれを数式で表現すると以下ようになる。

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

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。そこでこの基本拘束条件(1)に追加する拘束条件がいくつか報告されている。ここでは安藤¹⁾にならって以下の付加拘束条件を採用する。

着眼点近傍において速度場はほぼ一定と仮定できる。

つまり着眼点を中心とした近傍領域 Γ において至る所で式(1)が成立することになる。

したがって以下の誤差の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¹⁾。

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

$$J_{ERR} = \frac{(S_{xx} + S_{yy})(uS_{xt} + vS_{yt} + S_{tt})}{(S_{xx}S_{yy} - S_{xy}^2)\Gamma} \quad (5)$$

J_{DET} は式(3)の分母で解の安定性を評価する量である。ただし、 J_{DET} の最小値の見積もり J_{MIN} は画像が雑音のみであると仮定して算出される。また J_{ERR} は測定誤差分散の見積もりで、 $J_{DET} \geq J_{MIN}$ が満たされている測定点では測定値の誤差分散の評価量と考えられる。したがって要求する精度を A とすると、 $J_{ERR} < A^2$ を満たさない測定値は信頼性が低いとして結果から排除することができる。(図1参照)

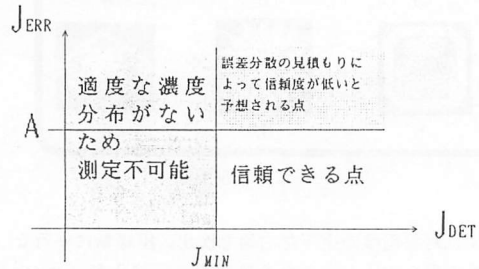


図1 画像の分類

通常、近傍領域 Γ は画像内の各点に対して、着眼点を中心とする適当な大きさの正方形領域が採用される。そのため、物体の境界を含む正方形領域を近傍領域 Γ とする場合が存在する。この場合、物体境界付近で不適当なオプティカル・フローが算出される可能性がある。(図2参照)

そこで本報告では新たにエッジ情報を利用した近傍領域 Γ の決定法、近傍領域 Λ の導入を提案する。

3. エッジ情報を利用した方法の提案

3.1 近傍領域 Γ の決定法

本報告では物体の境界を含む正方形を近傍領域 Γ とするのは不適当とする。

そこでまず画像のゼロ交差法を用いてエッジを検出する。実際には画像に対して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

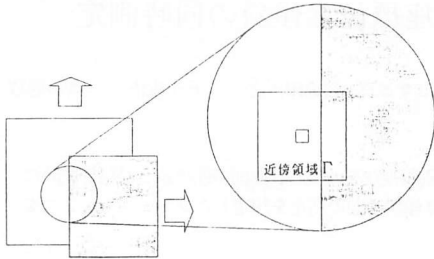


図2 複数の物体が重なり合っている状態

積和演算を行う。この方法で得られたエッジはエッジ候補として扱う。

次に画像内のすべての画素をエッジ候補領域、エッジ候補隣接領域、エッジ候補近傍領域、算出領域の4つに分類する。着目点からエッジ候補までの最短距離を n とすると以下のように分類できる。

- $n = 0$ エッジ候補領域
- $n = 1$ エッジ候補隣接領域
- $n = 2$ エッジ候補近傍領域
- $n \geq 3$ 算出領域

そして算出領域内の測定点の近傍領域 Γ は以下のように定める。

測定点を中心とした、エッジ候補領域、エッジ候補隣接領域を含まない適当な大きさの正方形領域

適当な大きさは $J_{DET} \geq J_{MIN}$ を満たす最小の近傍領域の大きさとする。

エッジ候補隣接、近傍領域内の測定点はこの時点では速度の算出は保留しておく。

3.2 近傍領域 Λ の導入

エッジ候補隣接、近傍領域内の測定点に対し、新たに近傍領域 Λ を以下のように定める。

エッジ候補隣接領域では5画素平方、エッジ候補近傍領域では3画素平方で角が1画素づつ無い十字型領域

この近傍領域 Λ 内から以下の式によって着目点のオプティカル・フローを決定する。

$$u(x, y) = \sum_{\Lambda} \frac{w(i, j)}{\sum w} u(i, j) \quad (6)$$

$$v(x, y) = \sum_{\Lambda} \frac{w(i, j)}{\sum w} v(i, j) \quad (7)$$

$$w(x, y) = (J_{DET}(x, y) - J_{MIN})^2 + (J_{ERR}(x, y) - A^2)^2 \quad (8)$$

つまり一時保留された領域内の画素は周囲の情報(各点に重み w を付ける)によって速度が決められていく。

4. シミュレーション及び実画像による実験

4.1 シミュレーションによる検討

画像面の大きさを 128×120 画素とする。 $(64, 60)$ を中心に反時計回りに1Frameあたり $0.04(\text{rad})$ 回転している半径50画素の円板を想定する。従来の方で処理を施した結果を図3に示す。提案した方法による結果を図4に示す。

明らかに図3では円板の境界付近で不適当なオプティカル・フローが算出されているが、図4では算出されていない。

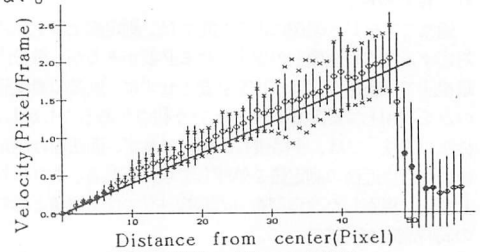


図3 従来の方法による結果

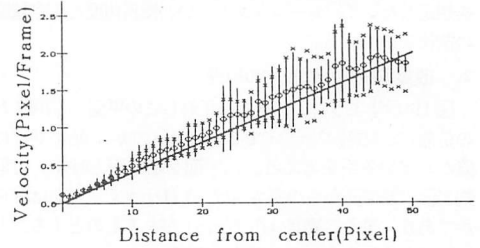


図4 本手法による結果

4.2 実画像による検討

反時計回りに1Frameあたり $0.032(\text{rad})$ 回転している半径49画素の円板を撮影し、本手法によって速度場計測を行った結果を図5に示す。これも不適当なオプティカル・フローは算出されていない。

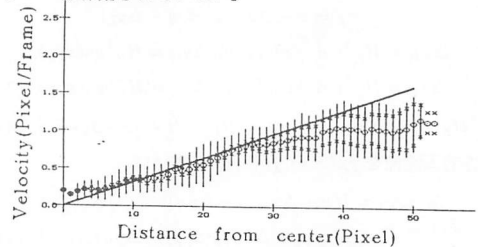


図5 本手法による計測結果

5. おわりに

エッジ情報を利用したオプティカル・フローの算出法を提案し、シミュレーションおよび実画像による実験を通して、その有効性を示した。

参考文献

- 1) 安藤 繁 : 計測自動制御学会論文集, 22, 12(1987)1330.