A108 時空間不均一照明下における速度場推定の高精度化

長 篤志[○] (山口大学), 張 林[†] (山口大学大学院), 三池秀敏(山口大学)Improved Accuracy in Motion Fields Estimation
under Spatio-Temporal Non-uniform Illumination

Atsushi Osa, Lin Zhang and Hidetoshi Miike

ABSTRACT

Two realistic methods are proposed for an accurate determination of motion fields under spatio-temporal non-uniform illumination. The reliability of determined motion velocity depends on conditions of image pattern and varying light illumination. The two methods combine a local and a global approach of optimization under the consideration of local reliability indices. These methods stabilize motion velocity at low reliability areas of images. The effectiveness of methods is shown by numerical experiments.

Keywords: Motion field, Non-uniform illumination, Reliability indices, Image processing

1. はじめに

デジタル画像処理による速度場推定手法は、動きを伴う様々な現象を捉える大変有効なツールとしてよく用いられている。しかし不均一照明下で撮影された対象に対しては、一般的な方法では高精度な推定が困難であるので、空間的な照明の不均一を考慮した方法として Mukawa の方法¹⁾などが提案されている。本研究では、当研究グループがこれまでに報告してきた時空間不均一照明下での速度場推定法²⁾の精度をさらに向上させることを目的として、大域最適化と局所最適化を組み合わせて解を推定する2種類の方法を提案する。

2. 原理

2.1 基本拘束式と時空間不均一照明モデル

Nomura³⁾らは、流体力学における保存則の類推から、 $f(x, y, t)$ を画像関数、 $\mathbf{v}=(u, v)$ を求める速度場、 ϕ を輝度値の生成消滅速度とする時、次の基本拘束式を提案した³⁾。

$$f_t = -f \operatorname{div}(\mathbf{v}) - \mathbf{v} \cdot \operatorname{grad}(f) + \phi \quad (1)$$

ここで2次元画像内では $\operatorname{div}(\mathbf{v}) = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$,

$\mathbf{v} \cdot \operatorname{grad}(f) = uf_x + vf_y$ と表せる。ただし、 f_x, f_y, f_t は f の x, y, t 軸の偏微分である。そこで、我々の研究グループでは、この ϕ として、ある時空間不均一照明を表す未知パラメータ w' を用いて、次式に示す不均一照明下にお

ける輝度値の生成と消滅を表すモデルを提案している²⁾。

$$\phi = fw' \quad (2)$$

ただし、速度場 $\mathbf{v}$ が注目点の近傍で一定であると仮定している。そして、速度場の発散は微小である($\operatorname{div}(\mathbf{v})=0$)として、(1), (2)式により時空間不均一照明下における速度場推定の拘束式が得られる。

$$f_t = -uf_x - vf_y + fw' \quad (3)$$

2.2 大域最適化(提案手法1)

(3)式の拘束式に、速度場と不均一照明パラメータに対して滑らかさの拘束条件を加えると、次の評価関数のもと変分法により u, v, w' を求めることができる。

$$E = \iiint_V (E_b + \alpha^2 E_c + \beta^2 E_w) dx dy dt \quad (4)$$

$$E_b = \iiint_{\delta V} (f_t + uf_x + vf_y - fw')^2 dx dy dt$$

$$E_c = \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right)^2$$

$$E_w = \left(\frac{\partial w'}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w'}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w'}{\partial t} \right)^2$$

ただし、 V は使用する動画像すべての範囲を表し、 δV は注目点の時空間近傍では速度場は一定であるという不均一照明モデルにおける仮定の適用範囲を表す。

2.3 局所最適化と速度場修正法(提案手法2)

注目点の時空間近傍(δV)において速度場は一定であるという仮定から、(3)の拘束式の u, v, w' は次の評価関数を用いて最小2乗法により得ることができる²⁾。

[†]現在、安川情報システム株式会社。

$$E_L = \iint_{\partial'} (f_t + uf_x + vf_y - fw')^2 dx dy dt \quad (5)$$

次に, この解を初期値(u_0, v_0, w'_0)にして, (8)式で示す推定速度場の信頼性指標($\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3$)を参照しながら, 次式の評価関数 E_S を変分法で解くことによって, 推定パラメータが画面全体 S で滑らかになるように修正を施す. これは, Ohta の提案手法⁴⁾を拡張した.

$$E_S = \iint_S (\Omega + \alpha \Psi) dx dy \quad (6)$$

$$\Omega = (\mathbf{r}_1 \cdot \Delta \mathbf{v})^2 + (\mathbf{r}_2 \cdot \Delta \mathbf{v})^2 + (\mathbf{r}_3 \cdot \Delta \mathbf{v})^2$$

$$\Psi = \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w'}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w'}{\partial y} \right)^2$$

$$\Delta \mathbf{v} = (u - u_0, v - v_0, w' - w'_0)$$

信頼性指標($\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3$)は, 次の行列の固有値を($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$), それに対応した固有ベクトルを $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3$ とした時, (8)式のように表されており, 輝度分布のノイズに対する強さを表している.

$$\begin{bmatrix} f_x^2 & f_x f_y & -f_x f \\ f_x f_y & f_y^2 & -f_y f \\ -f_x f & -f_y f & f^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{e}_1 \\ \mathbf{e}_2 \\ \mathbf{e}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{e}_1 \\ \mathbf{e}_2 \\ \mathbf{e}_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_1 &= \sqrt{\lambda_1} \mathbf{e}_1 \\ \mathbf{r}_2 &= \sqrt{\lambda_2} \mathbf{e}_2 \\ \mathbf{r}_3 &= \sqrt{\lambda_3} \mathbf{e}_3 \end{aligned} \quad (8)$$

3. 実験

Fig. 1 に, 推定精度比較に用いたシミュレーション動画像を, Fig. 2 に, その動画像の速度場(真値)を示す. 右下方向へ平行移動 ($(u, v) = (0.8, 0.7)$ [pixel/frame]) しているが, 画面上の照明が平行移動とは関係なく, 時間的, 空間的に変化している. 画像は 200×150 ピクセル, モノクロ 256 階調である.

Fig. 3 に, 比較の為に用いた従来法(a)(b)と提案手法(c)(d)による結果を示した. 提案手法では, 照明の変化による推定ミスが大幅に低減されているのがわかる.

Fig. 1 Translated Yosemite sequence (synthetic data).

Fig. 2 The theoretical motion field.

(a) Horn & Schunck (modified) (b) STLO

(c) Proposed method 1 (d) Proposed method 2

Fig. 3 Motion fields determined by various methods.

Table 1 Summary of the results.

Algorithm	Ave. Error	Std. Dev.	Frames
Horn & Schunck (modified)	13.83	17.46	15
Nagel	19.62	20.39	15
Lucas & Kanade	13.27	17.45	15
Uras et al.	2.79	3.37	15
STLO	5.69	8.02	8
Anandan	12.69	10.87	2
Proposed method 1	1.44	0.95	5
Proposed method 2	1.82	2.05	8

Table 1 に 6 つの従来法と提案手法 1, 2 の結果を, Barron らが用いた推定速度場の角度誤差⁵⁾による評価によってまとめたものを示す. 誤差の平均, 標準偏差とも, 大幅に改善されたことがわかる.

4. まとめ

時空間不均一照明のある画像に対する速度場推定法として, 最高水準の推定精度が得られることがわかった.

参考文献

- 1) Mukawa, N.: Optical model-based analysis of consecutive images, Computer Vision and Image Understanding, Vol.66 (1997) pp.25-32.
- 2) Zhang, L., Sakurai, T., and Miike, H.: Detection of motion fields under spatio-temporal non-uniform illumination, Image and Vision Computing, Vol.17 (1999) pp.307-318.
- 3) Nomura, A., Miike, H., and Koga, K.: Determining motion fields under non-uniform illumination, Pattern Recognition Letters, Vol.16, (1995) pp.285-296.
- 4) Ohta, N.: Image movement detection with reliability indices, IEICE Transactions, Vol.E74, No.10 (1991) pp.3379-3388.
- 5) Barron, J.L., Fleet, D.J., and Beauchemin, S.S.: Systems and experiment-performance of optical flow techniques, Intern. J. Comput. Vis., Vol.12, No.1 (1994) pp.43-77.