141 逐次棄却法における物体壁近傍処理の検討

西田 昌史[○] (関西大学院), 植村 知正 (関西大学)

Study on Near Wall Region Measurement by Successive Abandonment Method

Masashi NISHIDA, Tomomasa UEMURA,

ABSTRACT

When the PIV measures flows, which include boundaries such as a solid wall or gas-liquid interface, measurements ought to contain erroneous vectors. Most PIV analysis algorithms are based on pattern matching technique. Although template patterns are expected to move simultaneously, the boundaries violate the precondition. The pattern matching using correlation technique has a good solution to the problem. This paper proposes a solution for the SSDA algorithm.

Keywords: Template matching, PIV, Successive Abandonment Method

1. はじめに

PIVではその解析過程において、流れの部分画像をテンプレートとしたパターンマッチングが行われる。しかし壁近くではテンプレート中に物体壁が含まれるために、その影響がテンプレートマッチングのエラーの原因となる。

本論文では逐次棄却法を用いたPIVにおいて、テンプレート画像から物体壁を抽出し、その物体壁の部分を除いたテンプレートで移動量を求める方法を考案し、その手法の有効性を検討する。

2. 物体壁近傍でのPIV

物体壁の近傍でのPIVを行うとき、テンプレート内に注目したい流れの濃淡と、流れに無関係で動かない物体壁の像が入っている。物体壁のテンプレートに占める割合が大きくなると、パターンマッチングにおいて、流れの濃淡分布の最も類似する部分ではなく、物体壁の像が最も類似する部分を探索してしまい、エラーの原因となる。

そのエラーは、物体壁を含めてテンプレートマッチングを行うことが原因なので、一般的に過誤ベクトルは物体壁に沿った方向に出る傾向がある。そして、通常物体壁の近傍では流れが物体壁に沿っているため、エラーかどうか判別しにくい。また、物体壁の境界に対して垂直方向の流れを計測するのが困難である。

よって物体壁の近傍で正しく計測するには、物体壁の影響を除去しなくてはならない。

3. テンプレート中の物体壁の影響

まず今回検討する逐次棄却法について述べる。

逐次棄却法を用いたPIVでは連続した2枚の画像で時間

が先の画像を第1画面、後の画面を第2画面とする。第1画面からテンプレート画像($n \times n$)を切り出し、第2画面から最も類似している部分画像を探索する。類似性の判別には、テンプレート画像(P)と第2画面の部分画像(Q)の対応する画素の輝度差の絶対値を計算し、その累積値(R)を求める。その輝度差累積値が探索領域内で最小となる部分画像をテンプレートの移動先とする。

$$R(k, l) = \sum_{i=1}^{n^2} |p_i - q_i| \quad (1)$$

p_i : テンプレート画像Pの輝度値

q_i : 部分画像Qの輝度値

k, l : 画像PとQのずれ量

またこのとき、探索領域内で移動先を能率よく求めるために、テンプレート1行ごとに累積値があるしきい値を超えたら移動先候補から除外する。このしきい値はF検定を元にした値である。

次に、輝度相関法では第1画面のテンプレートと第2画面の部分画像の相関係数(S)を類似性の指標に用い、相関係数が最大となった部分画像をテンプレートの移動先とする。

$$S(k, l) = \frac{\sum_{i=1}^{n^2} \{(p_i - \bar{p})(q_i - \bar{q})\}}{\left\{ \sum_{i=1}^{n^2} (p_i - \bar{p})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n^2} (q_i - \bar{q})^2 \right\}^{1/2}} \quad (2)$$

$\bar{p}$: テンプレート画像Pの平均輝度

$\bar{q}$: 部分画像Qの平均輝度

逐次棄却法は輝度相関法に比べて物体壁の影響を受けやすい。それはテンプレートの類似度の指標に、逐次棄却法は輝度差累積値、輝度相関法は相関係数と、それぞれ用いている値が異なるからである。

相関計算では輝度の低い部分は相関係数に寄与しない。よって物体壁の画素に輝度ゼロを割り当てることで、テンプレート中の物体壁にあまり影響されずに正しい移動先を求めることができる。

一方、逐次棄却法では輝度差累積値の小さい部分画像がテンプレートとの類似性が高い。しかし、物体壁の画素ではパターンマッチングに関係しない輝度差の絶対値が累積される。また、テンプレートを物体壁の境界に垂直方向にずらすと輝度差累積値が常に増加する。このため物体壁の境界に沿った方向に過誤ベクトルが発生しやすい。

Fig. 1 Template containing solid boundary (32×32 pixel)

物体壁の影響を調べるために、白い紙にランダムに黒のスプレーを吹き付け濃淡分布を作り、それを暗い背景に明るい粒子像にするため輝度反転させ、Y方向の境界を持つ物体壁を重ねた画像を用いる。それを物体壁は動かさずに、濃淡分布だけをX方向（物体壁の境界の垂直方向）に約8pixel平行移動させたものを解析した。Fig.1はA-A'断面の左側のおよそ半分が物体壁で占められているテンプレート画像である。

Fig.2はFig.1をテンプレートとした場合の探索領域内の輝度差累積値の分布である。左奥部にピークより高い連続した部分があり、ピーク検出のミスの原因となる。これに対してFig.3に示した相関係数では、多くの局所ピークに1つの卓越したピークが認められる。

Fig. 2 Distribution of accumulated absolute brightness differences

Fig. 3 Cross correlation function

Fig. 4 Distribution of accumulated absolute brightness differences using masked template

4. 逐次棄却法での物体壁近傍処理

逐次棄却法においてテンプレートマッチングを行うとき、テンプレート画像から物体壁の像を抽出し、その部分では輝度差の絶対値を累積せず、着目したい流れの部分の画素についてのみの輝度差を累積する。つまりは物体壁の部分にマスクをしたテンプレートでパターンマッチングを行い、移動先を求めることになる。

Fig.4にFig.1のテンプレート画像で、物体壁にマスクをした場合の探索領域内の輝度差累積値の分布を示す。エラーの原因になっていた物体壁の部分の累積値が加えられていないので、Fig.2で極小点だった移動先が探索領域内の最小値になり、正しい移動先が求まっている。

Table1に物体壁のテンプレートに占める割合と移動量の正解率を示す。物体壁にマスクをしなかった場合、物体壁の占める割合がテンプレートの3/8以上だと、正しい移動量が全く求まらなかったが、物体壁にマスクをして移動量を求めた場合、テンプレートの3/4を占めていても80%以上で正しい移動量が求まっている。

Table 1 Error percentage caused by Wall

Wall area in Template [%]	Error [%]	
	With Mask	Without Mask
12.5	0	7.1
25.0	0	75.0
37.5	0	100
50.0	0	100
62.5	3.6	100
75.0	9.6	100

5. 結論

物体壁近傍での逐次棄却法PIVにおいて、テンプレート画像の物体壁の画素について輝度差を累積しない方法によって、物体壁の影響を取り除いて正しい移動量を求めることができ、この方法が有効だとわかった。

参考文献

- 1) 寺西ら, 逐次棄却PIV解析の精度向上に関する検討, 可視化情報, 18-Suppl.1(1998), pp.63-68.