

PTV のための高精度粒子画像情報抽出法としての粒子マスク適合法の提案

近畿大学理工学部 正会員 竹原 幸生
 近畿大学理工学部 正会員 江藤 剛治
 近畿大学大学院 桑名 亨

1. はじめに

流れ場の計測手法の 1 つに IV(Imaging Velocimetry)がある。IV の利点は従来の計測法が原理的に点計測であったのに対し、面計測が可能な点である。ビデオカメラを用いれば、2 次元の空間情報を一度にしかも連続的に計測できる。さらにステレオ法を使えば原理的に 3 次元空間の計測が可能となる。

IV にはいくつかの手法があるが、最も空間解像度が高く、三次元への拡張が安易なものとして、PTV(Particle Tracking Velocimetry)があげられる。PTV では、画像中の多数の粒子を自動的に追いかけて、流速を求める。著者らは、PTV のために、高精度に粒子画像を抽出する粒子マスク相関法(Particle Mask Correlation Method, PMC 法)¹⁾、および多数の粒子を自動的に追跡するアルゴリズムとしてカルマンフィルタと χ^2 検定を用いた KC(法 Kalman filter and Chi - square test method)²⁾を開発した。

PMC 法では、カメラにより撮影された画像中から粒子像を高精度に抽出し、粒子像の中心座標を求める。抽出された粒子情報をもとに、KC 法³⁾により連続する 2 時刻間で自動的に同一粒子の対応付けを行う。KC 法では、PMC 法により得られた粒子情報をもとに時々刻々と移動する粒子の情報を推定し、 χ^2 検定により同一粒子の対応付けを行う。

KC 法における 2 時刻間の同一粒子の対応付けは、粒子位置の情報ばかりでなく、粒子サイズ、ピーク輝度等の粒子情報を組み込むことができる。粒子マスク相関法では高精度に粒子を抽出できるが、粒子サイズ、ピーク輝度等の粒子情報を高精度に計測することはできない。KC 法に粒子サイズ、輝度等の情報を付与できれば 2 時刻間の同一粒子を高精度に対応付けることができ、粒子対応確率が高くなる。また、粒子情報をもとに PMC 法により抽出された粒子像候補が真の粒子像であるか、ノイズ像であるかを判断する材料となり、誤対応確率をさらに減少させることができる。

本報告では、PMC 法によって抽出された粒子画像候補に対して、高精度で粒子情報を抽出する粒子マスク適合法(Particle Mask Fitting method, PMF 法)を提案する。

2. 粒子マスク適合法の基本的な考え方

2.1 粒子マスク 粒子マスク適合法における粒子情報の推定方法は、粒子像候補に粒子マスク(粒子輝度分布テンプレート)をあてはめ、適合誤差の自乗和が最小になるよう粒子マスク形状を決定する。粒子マスクとして、式(1)で示すような 2 次元ガウス分布を用いる。

$$I(x, y) = A \times \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\left(\frac{x-x_0}{\sigma_x} \right)^2 - 2\rho \left(\frac{x-x_0}{\sigma_x} \right) \left(\frac{y-y_0}{\sigma_y} \right) + \left(\frac{y-y_0}{\sigma_y} \right)^2 \right] \right\} \quad (1)$$

ここで、最適化するパラメータとして中心位置(x_0, y_0)、 x 方向および y 方向の代表長さスケール(分散値)(σ_x, σ_y)、相関係数 ρ 、および中心輝度 A の 6 個である。パラメータの最適値決定法として powell 法を用いる。

2.2 適合領域 粒子マスク適合(PMF)法では、PMC 法で抽出された個々の粒子に対して小領域を決定し、粒子マスクを適合させる。適合小領域は、対象としている粒子画像のみの影響範囲を取り出すのが理想的である。つまり、粒子像に対して十分広い範囲を選べば背景輝度の影響を含めて粒子マスクを適合させる必要が生じ、適合させるパラメータが増える。また、適合させる領域が狭すぎると、対象となる粒子像に粒子マスク

キーワード：粒子マスク適合法，PTV(粒子追跡速度計測法)，粒子マスク相関法
 連絡先 (〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1，電話 06-6721-2332，FAX 0729-95-5192)

クを適合させるときに十分な情報が得られず，正確なパラメータの推定ができなくなる。今回は，適合小領域を近接粒子の垂直二等分線で形成されるボロノイ分割（図 - 1）領域内で決定する方法を用いる。

画像粒子密度が低ければ 1 個の粒子の適合小領域は比較的大きく，粒子位置も適合小領域の中心に位置し，粒子情報の推定も比較的容易である。しかし，適合範囲が広くなりすぎると背景輝度の影響がでてくるため，ある程度範囲を制限する必要がある。今回は，PMC 法でピックアップされた候補粒子像の中心に 20×20 pixel の範囲を最大領域とし，ボロノイ分割された領域との重なり部分を適合小領域とした。

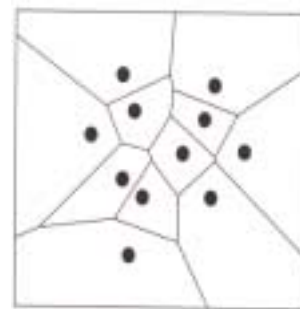


図-1 Voronoi diagram

2.3 初期値設定法³⁾ 粒子密度が高くなれば，粒子中心位置が適合小領域の端に存在したり，適合小領域が小さくなるため粒子情報を推定することが難しくなる。よって，抽出された粒子の状態によらず，粒子情報を推定することが必要である。PMF においては，対象粒子像の粒子情報に近い粒子情報の初期値を与えておかなければ，powell 法による繰り返し計算の際，計算時間が増大し，粒子情報が真値に近い値に収束しない可能性がある。今回は適合小領域内の輝度分布情報を用いて積率法により求めた各値から，粒子情報の最適初期値を推定する方法を用いる。

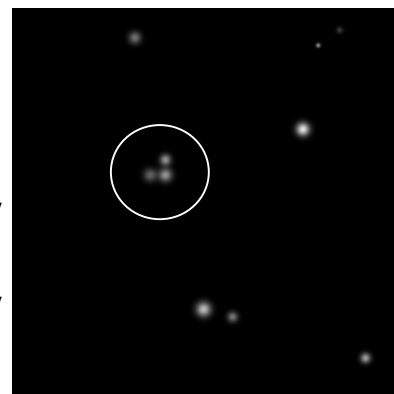


写真-1 模擬画像

背景画像の影響をさけるため，適合小領域内の累積輝度分布の 10% 輝度を適合小領域内の全画素の輝度から差し引き，積率法の計算を行った。

3. 模擬画像への適用結果

本報告で提案した PMF 法の精度を検証するため，真値との比較が可能な模擬粒子画像へ PMF 法を適用した。模擬粒子像としては式(1)において $\sigma = \sigma_x = \sigma_y$ ， $\rho = 0$ とし，中心位置 (x_0, y_0) ，粒子サイズ σ および中心輝度 a には基本的にランダムな値を与えた。今回用いた模擬粒子画像を写真-1 に，作成した模擬粒子像のパラメータを表-1 に示す。粒子 No.5,6,7(写真-1 中の円で囲んだ部分)については，同程度の大きさ($\sigma = 2.5$ および 3pixel)の粒子像が近接した場合を想定し，どの程度の誤差が生じるか調べた。今回の模擬画像では，近接する粒子の輝度分布に関しては，単に足しあわせたため，設定した粒子像の輝度分布からずれが生じている。

粒子適合法による適合結果も表-1 に示す。

表-1 模擬画像の粒子情報と粒子マスク適合法の適用結果

近接する粒子を除いたケースでは，位置，サイズにおいて 0.02pixel 以下の計測誤差であった。また，輝度に関しては 0.5 以下の計測誤差であった。

粒子像が近接するケースでは，位置，サイズにおいて最大 6.0pixel 程度の誤差が生じた。輝度においても 5 程度の誤差が生じている。これは輝度の足しあわせによる輝度分布の変形が原因と考えられる。

参考文献 1)江藤・他:水工学論文集,

第 40 巻,pp.1051-1058,1997. 2)竹原・他:土木学会論文集,No.533/II-34,pp.107-126,1996. 3)竹原・他:近畿大学理工学部研究報告,第 36 号, pp.61-67,2000.

粒子 No.	模擬粒子像				粒子適合法による結果					
	x_0	y_0	σ	a	x_0	y_0	σ_x	σ_y	ρ	a
No.1	214.0	15.0	1.5	60.0	214.0	15.0	1.48	1.48	0.0	60.22
No.2	80.0	20.0	2.8	115.0	80.0	20.0	2.78	2.78	0.0	115.02
No.3	200.0	25.0	1.0	160.0	200.0	25.0	0.99	0.99	0.0	160.47
No.4	190.0	80.0	3.0	230.0	190.0	80.0	2.99	2.99	0.0	229.98
No.5	100.0	100.0	2.5	150.0	100.0	100.3	2.51	2.84	-0.003	145.13
No.6	90.0	110.0	3.0	100.0	90.6	110.0	3.55	2.96	-0.001	98.21
No.7	100.0	110.0	3.0	150.0	99.79	109.9	3.20	3.12	-0.001	147.03
No.8	125.0	198.0	3.3	190.0	125.0	198.0	3.28	3.28	0.0	190.24
No.9	144.0	203.0	2.4	120.0	144.0	203.0	2.38	2.38	0.0	119.89
No.10	231.0	230.0	2.3	160.0	231.0	230.0	2.29	2.29	0.0	159.74