

1. はじめに

近年の電子技術の進歩および画像処理アルゴリズムの開発により、可視化された画像から流れ場を定量的に計測する技術が開発され実用化されている。これをIV(Image Velocimetry)と呼ぶ。IVの利点として、これまでの点計測の代表的なものである流速センサー等に比べ、非接触計測であり流れを乱すことがなく、また一度に空間の流速分布が計測できる点が上げられる。ビデオ画像を用いれば、空間的な流れ場の構造がどのように変化していくかを計測可能である。

IVにはいくつかの手法があるが、最も空間解像度が高く、三次元への拡張が容易なものとしてPTV¹⁾(Particle Tracking Velocimetry)があげられる。PTVでは、画像中の個々の粒子を自動的に追いかけることにより流速を求める。近畿大学では、PTVのために高精度で粒子画像を抽出する粒子マスク相関法(PMC法:Particle Mask Correlation Method)¹⁾を開発した。本研究では、PMC法によって画像から抽出された画像粒子候補から、粒子情報(粒子サイズ、粒子形状、輝度等)を高精度に推定する方法である粒子マスク適合法(PMF法:Particle Mask Fitting Method)の開発をめざしている。

2. 粒子マスク適合法 (Particle Mask Fitting Method)

2.1 粒子マスク適合法の位置づけ

粒子マスク相関法では、ビデオカメラにより撮影された画像より、粒子を高精度で抽出し、粒子の中心位置座標を求める。粒子画像のテンプレートである粒子マスクと実画像の粒子候補との相関係数値をある小領域で計算し、その操作を画像の全画素に対して求めるものである。これにより粒子マスクと相関の高いものを粒子として抽出する。

PMC法により抽出された粒子は、カルマンフィルタと χ^2 検定を用いたKC法(The Kalman Filter and Chi-square test)²⁾により連続する2時刻間で自動的に追跡される。KC法では、PMC法により得られた粒子情報を基に時々刻々と変化する粒子位置を推定する。しかし、現在、粒子マスク相関法より得られる高精度な粒子情報は画像における粒子中心座標のみである。KC法における2時刻間の同一粒子の対応付けでは、粒子中心位置の情報ばかりでなく粒子サイズ、粒子形状、ピーク輝度等の情報も組み込むことができる。よって、PMF法により画像から粒子位置、粒子サイズ、粒子形状、輝度の情報を高精度に抽出することが可能になれば、KC法における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。

2.2 粒子マスク適合法の要素技術

1) 粒子マスク

粒子マスク(Fig.1)とは、理想粒子画像の輝度分布テンプレートである。一般的に撮影された粒子画像の輝度分布は、粒子中心で最も高く、周辺に行くにしたがって減少する山型であるため、粒子マスクとして2次元ガウス分布曲面式を用いる。

2) 適合領域

粒子マスク適合法では、粒子マスク相関法により画像から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、近接粒子の垂直二等分線接点で形成されるポロノイ分割(Fig.2)により決定する。ポロノイ分割された領域内で粒子マスクを適合させ、粒子位置(x, y)、粒子サイズ(σ_x , σ_y)、粒子形状(ρ)、輝度(A)の6個のパラメータを計算する。粒子マスクと画像粒子の適合誤差の2乗和が最小になる

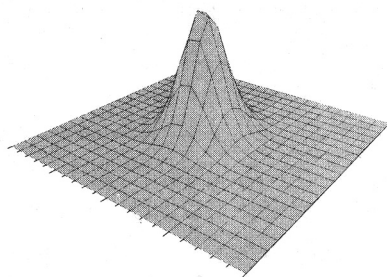


Fig.1

2次元ガウス分布曲面を用いた
理想粒子テンプレート(粒子マスク)

よう粒子マスク形状を決定し、粒子位置、粒子サイズ、形状、輝度の情報を得る。
パラメーターの最適値決定法として Powell 法を用いる。

3) 初期値設定

PMF 法においては、対象粒子画像に対して真の粒子情報に近い値を付与しておかなければ、Powell 法における最適値計算の際、計算時間が増大し、一定値に収束しない可能性や、粒子密度が高くなると近接粒子の影響により粒子がボロノイ分割領域内の端に存在するケースが生じ粒子情報推定は難しくなる。そこで、適合領域内の粒子中心位置に左右されず粒子情報を推定するために、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粒子サイズ、粒子形状値等から粒子情報の最適初期値を推定する方法を開発した。

3. 模擬粒子画像への粒子マスク適合法の適応

1) 使用画像条件および計算条件

- ・ 256×256Pixel の画面内に一様乱数を用いて粒子位置(x, y)、正規乱数を用いて以下の粒子サイズ、粒子形状、輝度等をランダムに与え、背景のノイズを考慮していない画像を作成した。(写真.1)
- 粒子数：50 個、粒子サイズ($\sigma=\sigma_x=\sigma_y$)：2.0pixel±0.5pixel、
- 粒子形状(ρ)：真円、輝度(A)：100.0±10.0
- ・ 粒子マスク相関法：マスクサイズ 2.0 Pixel
- ・ 粒子マスク適合法：ボロノイ分割領域サイズ 20×20Pixel 以内で分割し、適合計算を行なう。

2) 適合結果

PMC 法では、50 点のうち 49 点を抽出し、粒子マスク適合法では、47 点で高精度に粒子情報抽出することが可能であった。Table.1 に実画像に対する、粒子マスク相関法により求めた位置の標準偏差誤差および粒子マスク適合法により計算された各粒子情報の標準偏差誤差を示す。PMC 法、PMF 法の誤差計算は、47 点で行なった。

3) 考察

個々の粒子情報が高精度に抽出されなかった粒子は、1 つは粒子像が画像に半分程度しか存在しない場合や写真.1 内の Point.A のように、二つの粒子が重なりあっている場合であった。

Point.A では PMC 法及び PMF 法では、1 つの粒子として抽出され、適合計算が行われた。

4. 結論

- (1) 人工的に作られたノイズのない画像や粒子密度が低い画像においては、90%以上の粒子で真値に近い、粒子情報（粒子位置、粒子サイズ、粒子形状、輝度）を推定可能である。しかし、実計測においては、100 画素に対して粒子 1 つが存在する画像を対象としているので、粒子数を増やした場合の考察が必要である
- (2) 現段階では近接粒子群を分離して画像から抽出不可能である。今後、粒子の重なり具合、粒子が重なったときの輝度の足しあわせを時間的な変化でとらえていく必要がある。

参考文献

1)江藤剛治、竹原幸生ら：PTV のための粒子画像抽出法に関する検討、水工学論文集、Vol.40、pp.1051-1058、1996
2)江藤剛治、竹原幸生：多数のトレーサー粒子自動追跡のための新しいアルゴリズムの開発、水工学論文集、Vol34、pp.689-694、1990

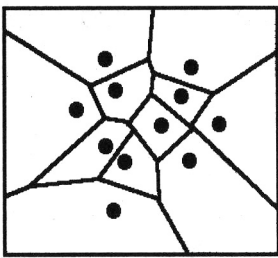


Fig.2 ボロノイ分割領域

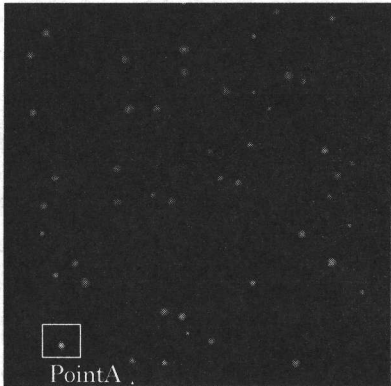


写真.1 粒子数 50 個の人工作成画像

表.1 模擬画像に対する PMC 法、PMF 法の計算誤差

実画像と粒子マスク相関法の計算誤差	
x位置誤差	y位置誤差
0.0771Pixel	0.0858Pixel
実画像と粒子マスク適合法の計算誤差	
x位置誤差	y位置誤差
0.0031Pixel	0.0026Pixel
x方向サイズ誤差	y方向サイズ誤差
0.0194Pixel	0.0192Pixel
形状誤差	輝度誤差
0.003	0.2155
計算時間	
33.39秒	