B501 粒子の出現/消失に対応する 遺伝的アルゴリズムによる PTV

古川 亨[○] (大阪電気通信大学大学院), 木村一郎 (大阪電気通信大学)

Genetic Algorithm-Based PTV which Copes with Particle Appearance/Disappearance Problem

Toru Furukawa, Ichiro Kimura

ABSTRACT

Particle tracking velocimetry (PTV) has been recognized to be essential and very useful for analyzing two- or three-dimensional complex flow fields. PTV is a method by which particle pairs are determined temporally between two successive low-density particle images. PTV techniques based on genetic algorithm (GA) promise to give better result because they search an optimal solution by taking all the field into account. The new genetic-algorithm-based PTV, proposed in this paper, features that each pairing candidate has gene strings which handle particle pairing and pairing possibility. Unlike conventional GA-based PTV, it is tolerant against particle appearance/disappearance problem because the gene strings are designed so that the problem is assumed to happen. We have applied the method to PIV standard images to evaluate it.

Keywords: Particle Tracking Velocimetry, Genetic Algorithm

1. はじめに

本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いて、粒子の出現・消失に対応する PTV 手法を提案し、その評価を行った。

粒子追跡流速計測 (Particle Tracking Velocimetry; PTV) は、粒子画像に写っている各粒子を時間的に対応づけることで、各粒子の移動先を算出し、速度場を得る計測である。PTV は画像内の粒子密度が低い場合に有効で、計測速度の空間分解能が高く、3次元計測への適用も容易であるという、特長がある。

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm; GA) による PTV[1][2][3]では、粒子の対応づけを組み合わせ最適化問題と考え、粒子の組み合わせを遺伝子配列で表すことにより、正しい対応づけを繰り返し演算で探索する。この場合、各候補解である遺伝子配列が、場全体の粒子対応づけを持つため、全粒子の対応づけを同時に探索することになる。

これまで提案されてきた GA による PTV では、すべての粒子が正しく対応づけられるという仮定に基づいて、遺伝子配列が設計されてきた。しかしながら、実際の問題では、2枚の画像内の粒子は必ずしも対応づけられないと考えるのが現実的である。これは、1枚目の画像に写っていた粒子が消失したり、2枚目の画像にのみ出現する粒子が存在することが原因となっている。

そこで本研究では、遺伝子配列の中に粒子の消失・出現を表す情報を組み込むことによって、この問題に対応する PTV 手法を提案する。

2. 遺伝的アルゴリズムによる PTV

1. 概要

提案する手法の流れは以下のとおりである。はじめに、2枚の粒子画像に写っている各粒子に、0, 1, 2, ..., n の識別番号を与え、それらの時間的対応づけを遺伝子配列で表現する。続いて、ランダムな粒子対応づけを表す遺伝子配列を、候補解として作りだす。各候補解を、適応度関数にしたがって評価し、特に評価の高い候補解を次の世代にコピーする。また、比較的評価の高い候補解を選択し、それらの遺伝子を組み合わせることで、次の世代の候補解を作る。さらに、突然変異によって候補解の遺伝子をランダムに入れかえる。評価関数の値が収束するまで、評価から突然変異までの手順を繰り返す。

2. 遺伝子配列

粒子対応づけ遺伝子配列の構造は以下のとおりである。形式は一次元で、 i 番目の位置には、第1画面で識別番号 i の粒子に対応づけられる、第2画面の粒子の識別番号 p_i が置かれる。各遺伝子 p_i は、ひとつの遺伝子配列内で、必ず1度しか使われてはならない。

対応可否遺伝子配列は、第1画面の各粒子に
対応させるべき第2画面の粒子があるかないか
を表現したものであり、形式は一次元である。i
番目の位置には、第1画面で識別番号iの粒子に
ついて、対応先があることを意味する1、もしく
は、ないことを意味する0が置かれる。Fig. 1
は粒子対応づけと遺伝子配列の例である。

Particle pairing Gene string
Fig. 1 Example of Particle pairing and gene strings

3. 評価関数

粒子対応づけと、対応可否の両方の遺伝子を
評価できる評価関数を用意した。

一組の粒子が時間的に正しく対応づけられる
とき、その粒子と近傍粒子によって構成される粒
子クラスタの位置パターンは似ていると考えら
れる。

$$F_1 = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^l \min \frac{\|r_i - d_i\|}{\|d_i\|} \quad (1)$$

ただし、 r_i および d_i は、それぞれ、第2画面
において、対応づけられた粒子から近傍粒子への
相対位置ベクトル、および、第1画面において対
応づけられた粒子から近傍粒子への相対位置ベ
クトルを表す (Fig. 2)。

一方、ある粒子が時間的に対応づけられるべ
き粒子を持たない場合、その粒子周辺の平均速度
ベクトルでその粒子が移動すると仮定される位
置に、粒子はないと考えることができる。そこで、
対応不可の妥当性を評価する関数を次のように
定義する。

$$F_2 = \sum_{i=0}^n \min \frac{\|(y_i + v_{avg}) - x_i\|}{\|v_{avg}\|} \quad (2)$$

ただし、 x_i , y_i および v_{avg} は、それぞれ、第2画
面の粒子の位置ベクトル、対応先がないと定義さ
れた粒子の位置ベクトル、および、対応づけられ
ない粒子の近傍粒子の移動ベクトルの平均を表
す (Fig. 3)。

各候補解を評価する際には、これらふたつの関
数を組み合わせ次の関数を用いる。

$$F = F_1 - aF_2 \quad (a > 0) \quad (3)$$

Fig. 2 Paired particle clusters

Fig. 3 Particle which shall not be paired

3. シミュレーション

本手法の性能を評価するために、PIV 標準画
像[4]と共に提供される粒子情報を利用した。こ
の問題に対して、提案する手法を適用し、GA の
世代数と対応づけの正解率の関係を Fig. 4 に示
す。

Fig. 4 Correct pairing and generation

4. 結論

粒子の出現・消失を扱う遺伝子配列を導入し
た、GA による PTV 手法を提案し、その性能評
価を行った。今後、別の評価関数、交叉方法など
を導入することで、計測時間や精度に関する要求
に合わせた方法を検討していくことが課題であ
る。

5. 参考文献

- [1] R. Oyama, T. Takagi, T. Tsukiji, T. Nakanishi and K. Kaneko, Particle tracking technique and velocity measurement of visualized flow fields by means of genetic algorithm, J. of Visualization Society of Japan, Vol.13, No.38, 1993, pp.58-6
- [2] J. Shen and H. Meng, A 3D velocity field extraction technique using genetic algorithm, Proc. of The Second International Workshop on PIV'97-Fukui, Fukui, Japan, 1997, pp.43-50
- [3] T. Furukawa, I. Kimura, Y. Kuroe and A. Kaga, Hybrid PTV Using Neural Networks and Genetic Algorithms, CD Rom Proc. Of PSFVIP-2, Honolulu, USA, 1998, PF075
- [4] <http://www.vsj.or.jp/piv/>