

II-243

流体中の粒子の自動追跡アルゴリズム

近畿大学理工学部 正員 江藤剛治

近畿大学理工学部 正員○竹原幸生

1. はじめに

流れ場の時間変化と空間構造を同時に把握するには、ビデオ撮影による連続画像を用いた計測が現在最も有効な手段である。最近の電子計算機の処理速度の向上と画像処理のアルゴリズムの進歩により、画像を用いた自動計測が実用化されつつある。最近画像を用いて自動的に流速測定を行うアルゴリズムがいくつか提案されている。本研究では、ある時点までの粒子情報を用いてカルマンフィルターにより次のステップの粒子情報を推定するアルゴリズムについて検討を加えた。

2. カルマンフィルターによる次ステップの粒子情報の推定

現時点以前の得られた粒子情報から次の時刻の粒子情報を推定する。

離散型の線形動的システムの一般的表現は次式のようにになる。

$$\text{状態方程式 } \mathbf{h}(t+1) = \Phi(t+1; t) \mathbf{h}(t) + \Theta(t+1; t) \mathbf{u}(t) + \xi(t) \quad (1)$$

$$\text{観測方程式 } \mathbf{m}(t) = \mathbf{D}(t) \mathbf{h}(t) + \zeta(t) \quad (2)$$

ここで、

$\mathbf{h}(t)$; ステップ t での状態量を表すベクトル、

$\mathbf{m}(t)$; ステップ t での観測量を表すベクトル、

$\mathbf{u}(t)$; ステップ t の時の入力あるいは制御量を表すベクトル、

$\Phi(t+1; t)$; ステップ t の状態量をステップ $(t+1)$ のものに遷移させるマトリクス、

$\Theta(t+1; t)$; ステップ t の入力をステップ $(t+1)$ での状態量へ寄与させるマトリクス、

$\mathbf{D}(t)$; 状態量と観測量を結ぶマトリクス、

$\xi(t)$, $\zeta(t)$; 誤差ベクトルである。

粒子追跡においては制御系はないので(1)式の右辺第2項はなくなる。基本的に得られる情報は位置情報もしくは移動量までとする。状態量ベクトル $\mathbf{h}(t)$, 観測量ベクトル $\mathbf{m}(t)$, 遷移マトリクス $\Phi(t+1; t)$, および状態量と観測量を結ぶマトリクス $\mathbf{D}(t)$ について次の4つのケースを考え、検討を加える。以下に用いる x , v , a , s はそれぞれステップ t における状態量としての位置と1ステップ間の移動量, 移動量の変化量, さらにその変化量である。 X , V は観測量としてのステップ t における位置, 1ステップ間の移動量である。

ケース1. (状態量 x , v , a と観測量 X の場合)

$$\mathbf{h}(t) = \begin{pmatrix} x \\ v \\ a \end{pmatrix}, \quad \Phi(t+1; t) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{m}(t) = \{X\}, \quad \mathbf{D}(t) = (1 \ 0 \ 0)$$

ケース2. (ケース1の観測量に V を加えたケース)

$$\mathbf{h}(t) = \begin{pmatrix} x \\ v \\ a \end{pmatrix}, \quad \Phi(t+1; t) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{m}(t) = \begin{Bmatrix} X \\ V \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{D}(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

ケース3. (ケース1の状態量に s を加えたケース)

$$\mathbf{h}(t) = \begin{pmatrix} x \\ v \\ a \\ s \end{pmatrix}, \quad \Phi(t+1; t) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{m}(t) = \{X\}, \quad \mathbf{D}(t) = (1 \ 0 \ 0 \ 0)$$

ケース4. (ケース3の観測量にVを加えたケース)

$$h(t) = \begin{Bmatrix} x \\ v \\ a \\ s \end{Bmatrix}, \quad \Phi(t+1; t) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad m(t) = \begin{Bmatrix} X \\ V \end{Bmatrix}, \quad D(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

今回の追跡対象としては、1つの粒子の1次元単振動を用いた。追跡の間隔は1/20周期で、1周期間(T)追跡を行った。初期値として $x=0$, $v=0.1$ を与えた。

3. 追跡結果とその考察

ケース1～4までの追跡結果をそれぞれ図-1～4に示す。図中の実線は実際の粒子の1/20周期間隔での粒子位置を連ねたものである。破線矢印はカルマンフィルタにより推定した粒子位置である。

ケース1とケース2を比較するとほとんど変化がない。つまり、観測量ベクトルを(X)のみから(X, V)に増加しても、さほど変化しないということである。ケース1の位置の推定値と観測値の絶対値誤差の平均値は0.030で、ケース2の場合は0.026であった。

ケース1とケース3を比較するとかなりケース3の方がよく追従しているのがわかる。ケース1に対してケース3は状態量ベクトルとして1ステップ間における粒子の移動量変化率の変化率sを加えたものである。このsは物理的にはあまり意味の無いものに思えるが結果的には追跡効率がかなり良くなった。ケース3の場合の位置の推定値と観測値の絶対値誤差の平均は0.018であった。

ケース3とケース4を比較するとほぼ同程度である。ケース4はケース3に対して観測量に1ステップ間の移動量Vを加えたものである。ケース4の場合の位置の推定値と観測値の絶対値誤差の平均値は0.010であった。

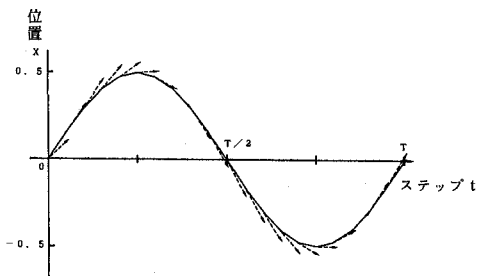


図-1. ケース1の追跡結果

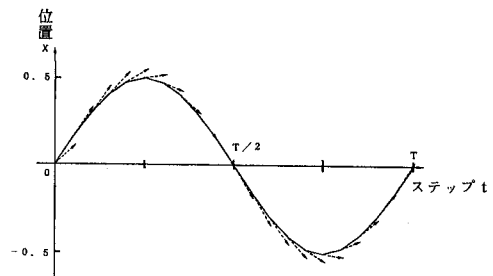


図-2. ケース2の追跡結果

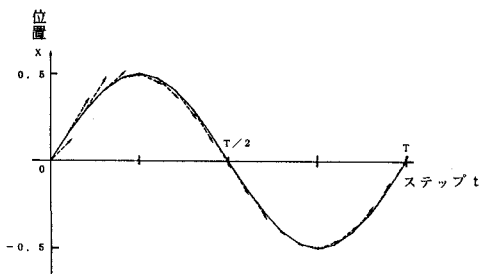


図-3. ケース3の追跡結果

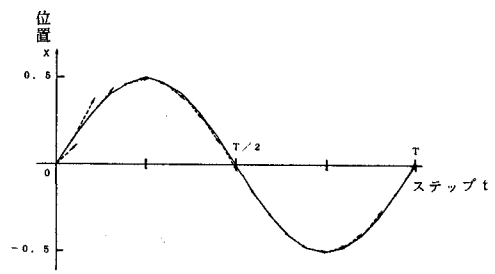


図-4. ケース4の追跡結果