

アフィン変換を利用した動きの補間方式

6E-3

鳥生 隆 直井 聡
株式会社 富士通研究所

1. はじめに

動画画像から物体の位置や形状の時間的な変化など、物体の運動状態を推定するためには、位置や形状を時間について連続的な関数として表現しなければならない。この問題に対し、筆者らは画像面上における2次元運動を対象として、時間に関して離散的にサンプリングされた動画画像から任意の時刻における物体の位置や形状を推定する方式を開発した。具体的には、物体の動きに伴う画像の変化を時間的に連続的なアフィン変換によって表現し、それを基に、時間間隔において入力された2枚の画像から途中の任意時刻における画像を仮想的に補間するようにした。

2. 方式の概要

画像のモーメント特徴の空間はアフィン変換に関して閉じている^{1),2)}。逆に、二次以下のモーメント特徴は適当なアフィン変換によって互いに移り変わることができる。この性質を利用した補間方式の概要を図1に示す。

最初に、1枚目、2枚目のそれぞれの画像から重心、慣性主軸、主軸まわりおよびそれに直交する軸のまわりのモーメントを算出する。次に、1枚目の画像の特徴を2枚目の画像の特徴に変換するアフィン変換を求める。さらに、このアフィン変換を時間に関して連続化し、これを1枚目の画像に施すことで任意時刻における画像を推定する。

3. アフィン変換による補間

3.1 特徴を結びつけるアフィン変換の決定

1枚目および2枚目の画像の重心を (X_1, Y_1) 、 (X_2, Y_2) 、

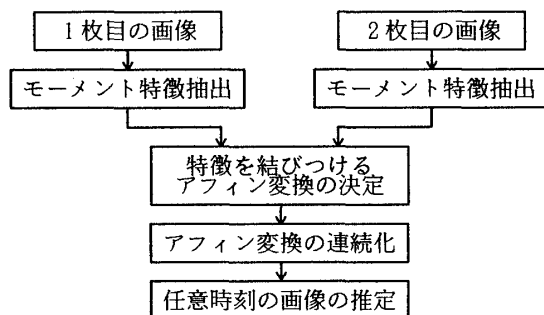


図1 方式の概要

慣性主軸がx軸となす角を θ_1, θ_2 、主軸まわりのモーメントを $EXP(\kappa_1), EXP(\kappa_2)$ 、主軸に直交する軸のまわりのモーメントを $EXP(\lambda_1), EXP(\lambda_2)$ とする。また、x軸方向に X 、y軸方向に Y だけ平行移動させる変換を $T(X, Y)$ 、原点を中心に θ だけ回転させる変換を $R(\theta)$ 、x軸方向に $exp(\kappa)$ 倍、y軸方向に $exp(\lambda)$ 倍だけ伸縮させる変換を $M(\kappa, \lambda)$ と表す。これらの変換は画像空間に作用すると同時に、特徴空間にも作用する演算である。

このとき1枚目の画像の特徴 $F_1 = (X_1, Y_1, \theta_1, \kappa_1, \lambda_1)$ および2枚目の画像の特徴 $F_2 = (X_2, Y_2, \theta_2, \kappa_2, \lambda_2)$ は、図2に示すようにそれぞれ特徴空間の原点 $F_0 = (0, 0, 0, 0, 0)$ に対して

$$F_1 = G_1 * F_0$$

$$G_1 = T(X_1, Y_1) R(\theta_1) M(\kappa_1, \lambda_1) \tag{1}$$

$$F_2 = G_2 * F_0$$

$$G_2 = T(X_2, Y_2) R(\theta_2) M(\kappa_2, \lambda_2) \tag{2}$$

の変換を施せば得られる。(1)、(2)式より、2枚目の画像の特徴 F_2 は1枚目の画像の特徴 F_1 に対して次の変換を施した結果に等しいことがわかる。

$$F_2 = G_2 G_1^{-1} * F_1 \tag{3}$$

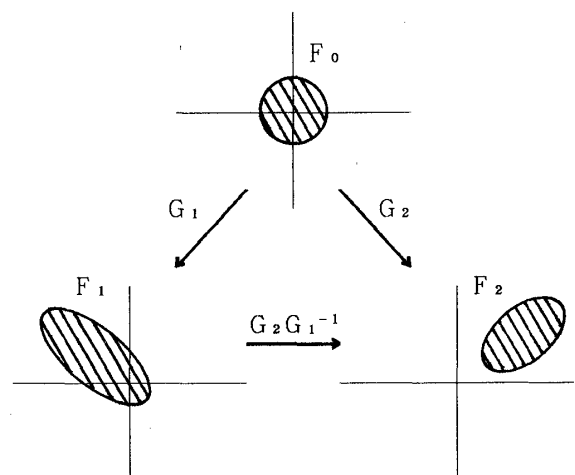


図2 アフィン変換の決定

3. 2 アフィン変換の連続化

式(3)を基に、1枚目の画像のモーメント特徴 F_1 を任意の時刻における特徴 $F(t)$ に変換する時間的に連続なアフィン変換 $G(t)$ を求める。単位時間後には $F(t)$ が F_2 に一致することを要請すると次式が得られる。

$$F(t) = G(t) * F_1, \quad F(0) = F_1, \quad F(1) = F_2 \quad (4)$$

(4)式を満たす変換は無数に存在するが、その中から次の二つの条件のいずれかを満たすものを求める。

$$F(t) = (1-t)F_1 + tF_2 \quad (5)$$

$$F(t) = \exp(At)F_1 \quad [A: \text{時間に依存しない変換}] \quad (6)$$

(5)式は画像間で特徴を線型に補間すること、(6)式は無限小変換 A によって特徴が逐次的に変化することを意味する。

(4)式と(5)式を満たすアフィン変換は次式で求まる。

$$G(t) = T(X, Y)R(\theta)M(\kappa, \lambda)G_1^{-1} \\ (X, Y, \theta, \kappa, \lambda) = (1-t)(X_1, Y_1, \theta_1, \kappa_1, \lambda_1) + \\ t(X_2, Y_2, \theta_2, \kappa_2, \lambda_2) \quad (7)$$

一方、(6)式では $G_2 * G_1^{-1} = \exp(A)$ を満たす A を用いて、 $G(t)$ は次式で求まる。

$$G(t) = \exp(At) \quad (8)$$

(7)式あるいは(8)式は任意の時刻における物体の位置や形状を表現しており、これから位置や形状の時間的変化など物体の運動状態を捉えることができる。

3. 3 任意時刻の画像の推定

1枚目の画像を $I_1(x, y)$ 、2枚目の画像を $I_2(x, y)$ とする。このとき、任意の時刻における画像は(7)式あるいは(8)式で決まるアフィン変換を $I_1(x, y)$ に施すことで求まる。しかし、 $G(1) * I_1(x, y)$ と $I_2(x, y)$ は必ずしも一致しない。そこで、時刻 t における画像 $I(x, y; t)$ を次のように $G(t) * I_1(x, y)$ と $G^{-1}(1-t) * I_2(x, y)$ を重ね合わせることで推定する。

$$I(x, y; t) = (1-t)G(t) * I_1(x, y) + \\ tG^{-1}(1-t) * I_2(x, y) \quad (9)$$

(9)式によれば、 $I(x, y; t)$ は時刻 $t=0$ では一枚目の画像に、時刻 $t=1$ では二枚目の画像に一致するようになっている。

4. 実験結果

図3に(7)式を用いた動画の補間結果を示す。形状、位

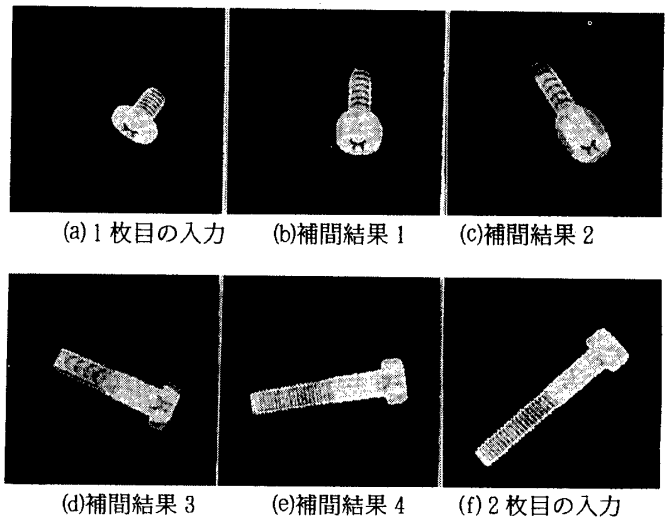
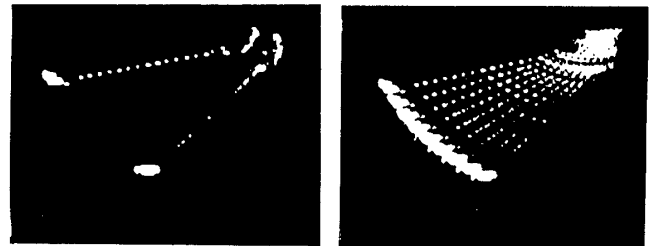


図3 特徴の線型補間による処理結果



(a)入力画像 (b)補間結果

図4 特徴の逐次的変化による処理結果

置、方向が異なる二つのボルトを1枚目および2枚目の画像とし、その間4枚の画像を補間した。なお、画像は 256×256 (8ビット)の大きさである。

図4に(8)式を用いた補間結果を示す。入力画像はゴルフクラブのスウィングを1/30秒間隔で撮影したものであり、1/240秒間隔で補間した。クラブの重心が直線的に移動するのではなく、回転している様子が適切に再現できた。

5. むすび

物体の位置や形状の変化など物体の運動状態を時間的に連続なアフィン変換によって表現した。その結果、二枚の画像の間で物体の位置や形状が大きく変化した場合においてもその動きを仮想的に補間し、途中の任意の時刻における画像を推定できるようになった。さらに、実画像を用いた実験によって本方式の有効性を確認した。

参考文献

- 1) 甘利俊一: "パターン信号の特徴空間における正規化理論", 信学誌, Vol. 49, pp. 1342-1350(1966).
- 2) 大津展之: "不変特徴抽出の理論 [1], [2]", 信学誌, Vol. 69, pp. 469-475, 585-590(1986).