

画像面中を移動する複数剛体の状態空間モデルによる動的識別

Detection of rigid objects moving on 2D image by state space model

宮原靖武 内野 毅 生駒哲一 前田博
Yasutake Miyahara Tsuyoshi Uchino Norikazu Ikoma Hiroshi Maeda

九州工業大学 工学部
Faculty of Engineering , Kyushu Institute of Technology

Abstract We express the multiple rigid objects with different movements in motion image employing the state space model, and detect it. The state vector has the following elements: 1) Velocity of each object, 2) The position of each feature points, and 3) The label attached to the object. The state estimated by using the property that the feature points belonging to the same rigid object moves identically. Here, it is assumed that the object moves in parallel with image plane, and each feature point moves at the velocity of each object label. The state estimation can determine the object to which each feature point belongs, and can smooth the orbit of each feature point.

1 はじめに

動画像から得られる複数の特徴点の軌跡(2次元データ)を用いて3次元空間における動きを復元することができる。

特徴点の軌跡は、画像中のコーナーやクロスなどの特徴点を(1)輝度の変化が大きい、(2)単一方向性がない、という条件で抽出し、これを引き続く画像の特徴点近傍において、画像の類似性に基づいて探索し、追跡することによって得ることができる。しかし、特徴点抽出の際、誤ってエッジを特徴点として抽出した場合、引き続く画像の特徴点近傍において、類似した画像パターンが複数存在するため、対応が一意に定まらず、誤対応を起こし、本来の軌跡とかけ離れた軌跡を取ってしまう。これを開口問題と呼ぶ。

開口問題の解決に、個々の特徴点の軌跡ごとに時系列フィルタリングを適用し、滑らかな軌跡を得る方法、開口問題の点にはフィルターにコーシー分布のような裾の重い分布を用いる方法がある[7]。しかし、この方法を用いても、開口問題の軌跡は、実際の軌跡と大きくかけ離れているの

で、フィルタリングされた滑らかな軌跡も実際の軌跡とは大きくずれてしまう[5]。また、同一物体に属する複数の特徴点の軌跡を同時に扱うモデルがあるが、開口問題の軌跡がどれであるかを与えていなければならないという条件が必要となる[11]。

本研究では、物体(剛体)上の複数特徴点の動きを状態空間モデルによって表す。物体の速度はほぼ一定とし、各特徴点の属する物体は未知であるが、同一物体に属する特徴点は同一の動き情報(速度)を持つという性質を利用してこれを推定する。状態ベクトルには、各物体の速度、特徴点の位置、及び各特徴点の属する物体ラベルを持たせる。物体数は既知とする。各特徴点は、その物体ラベルの値が一致する物体の速度で動くものとし、ラベルはマルコフ過程に従って変化するものとする。状態推定することにより、各特徴点の滑らかな軌跡が得られ、かつ、各特徴点がどの物体に属するかを判別することができる。モデルは非線形になるので、状態推定には多数の粒子を用いて状態の分布を近似するモンテカルロフィルタを用いる。

2 モデル

2.1 システムモデル

時刻 k における j 番目の情報を,

$$\mathbf{x}_k^{(j)} = [x_x^{(j)}(k), x_y^{(j)}(k), m_k^{(j)}] \quad (1)$$

とする. $x_x^{(j)}(k), x_y^{(j)}(k)$ は特徴点の位置で, $m_k^{(j)}$ は物体ラベルである. i 番目の物体の速度を

$$\mathbf{v}_k^{(i)} = [v_x^{(i)}(k), v_y^{(i)}(k)] \quad (2)$$

と表す. これらを用いて, 状態ベクトルを

$$\mathbf{x}_k \equiv [\mathbf{x}_k^{(1)}, \dots, \mathbf{x}_k^{(p)}, \mathbf{v}_k^{(1)}, \dots, \mathbf{v}_k^{(q)}]^t \quad (3)$$

と定義する.

システムモデルは,

$$\mathbf{x}_k \equiv \mathbf{F}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{G}\mathbf{u}_k \quad (4)$$

と表される. \mathbf{F} は状態遷移行列であるが, (4)式のシステムモデルは非線形である. また,

$$\mathbf{u}_k \equiv [(\tilde{\mathbf{u}}_k^{(1)}), \dots, (\tilde{\mathbf{u}}_k^{(q)})]^t \quad (5)$$

はシステムノイズベクトルで,

$$\tilde{\mathbf{u}}_k = [u_k^{(x)}, u_k^{(y)}] \quad (6)$$

は平均ベクトル $\mathbf{0}_d$, 分散共分散行列 \mathbf{I}_d^{-2} の正規分布に従う.

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 \\ 1 & & \\ & \ddots & \\ & & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

状態遷移行列 \mathbf{F} は

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{p \times p} & \mathbf{E}_{p \times q} \\ \mathbf{0}_{q \times p} & \mathbf{I}_{q \times q} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} \delta_{im} & \dots & \delta_{im} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{im} & \dots & \delta_{im} \end{bmatrix}$$

$$\delta_{im} = \begin{cases} \mathbf{0}_d & (i \neq m_k^{(j)}) \\ \mathbf{I}_d & (i = m_k^{(j)}) \end{cases}$$

である.

2.2 観測モデル

$$\mathbf{y}_k^{(j)} = [y_x^{(j)}(k), y_y^{(j)}(k)] \quad (9)$$

状態ベクトル \mathbf{x}_k から, 複数特徴点の位置

$$\mathbf{y}_k = [(\mathbf{y}_k^{(1)})^t, (\mathbf{y}_k^{(2)})^t, \dots, (\mathbf{y}_k^{(p)})^t]^t \quad (10)$$

を得る過程を, 観測モデル

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k \quad (11)$$

で表す. ここで

$$\mathbf{w}_k \equiv [(\mathbf{w}_k^{(1)})^t, \dots, (\mathbf{w}_k^{(p)})^t, \mathbf{0}_d, \dots, \mathbf{0}_d]^t \quad (12)$$

は観測ノイズベクトルで, 正規分布に従うか, またはコーシー分布などの裾の重い分布に従うものとする. 分布の中心ベクトルは $\mathbf{0}_{d \times p}$ で, 広がりは分散共分散行列 \mathbf{I}_d^{-2} で与えられる.

また,

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} I_d & & \mathbf{0}_d & & \\ & \ddots & & \ddots & \\ & & I_d & & \mathbf{0}_d \end{bmatrix} \quad (13)$$

は観測行列である.

3 実験

1次元及び2次元シミュレーションデータを用いて, 動作を確認した後, 実画像(2次元)から得たデータを用いて状態推定及び物体番号ラベルの推定を行なった.

3.1 実画像データ

実画像はカメラの射影面に対して平行に、2冊の本を異なる方向に動かしている約2秒間撮影して、30枚の時系列画像を得た。上側の本は右へ、下側の本は左へ移動している。また、背景は動かない。実際に使用した原画像に特徴点を付した画像のフレーム1を以下の図1に示す。対象物や背景には、特に制約（目印を付ける等）を設けていない。

まず、第1フレームに対して特徴点抽出し、次時刻の画像において特徴点を探索し、特徴点軌跡を得た。その中から、各物体につき4点ずつ計12点、性質の良いものを取り出し、実画像データとした。実画像データを図2に示す。



図1 特徴点と原画像

特徴点軌跡データに対して2で示したモデルを物体数既知、物体番号未知として適用した。粒子数は50000、分散 τ^2 、 σ^2 の値はx方向、y方向共に $\tau^2 = 0.1$ 、 $\sigma^2 = 1.0$ である。

状態推定結果を図3に示す。実線が推定結果、点線は実画像データである。推定結果は実画像データに比べ滑らかになっている。また、表1に物体番号の推定結果を示す。横に12個並んでいるのがそれぞれ特徴点を表し、左から順に4個ずつ上側の本、下側の本、背景と並んでいる。時刻 $k=1$ でランダムに与えられている物体番号が時間の推移と共に推定され、稀に誤対応はあるもの

の正しく推定されていることが分かる。

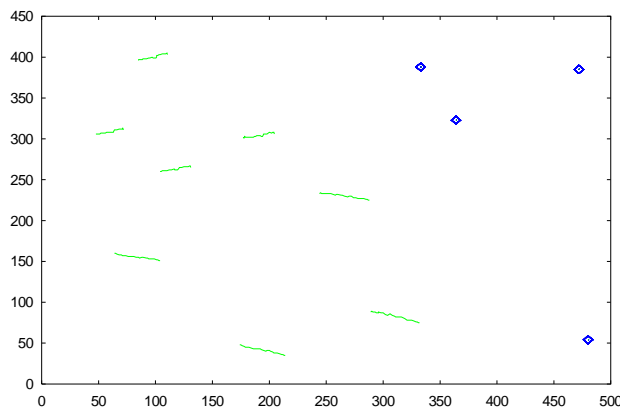


図2 実画像データ

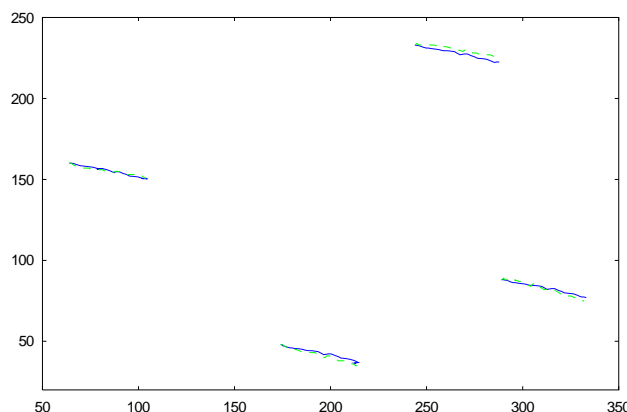


図3 状態推定結果

4 おわりに

同一物体に属する特徴点は同一動き情報を持つという性質を用いて、状態ベクトルに各特徴点の位置、物体の速度、物体ラベルを持つ状態空間モデルを提案した。また、1次元シミュレーションデータ、2次元シミュレーションデータを用いて動作確認した後、実画像から得たデータに対して状態推定を行い、その有用性を示した。

今後の課題としては(1)物体の持つ動き情報として、速度(平行移動成分)のみを扱っているが、これに回転を加える。(2)開口問題へのラベルを追加する。(3)2次元画像から得られる2次元データから2次元的動きを復元しているが、3次元的動きの復元を可能にする。が挙げられる。

表1 物体番号の推定

時刻 k	物体番号
1	1101202100200
	111201122211
	000011112122
	000011112122
	000011112002
	000011112002
	000011110002
	000011110202
	000011112202
10	000011112220
	000011112220
	000011112220
	000011112222
	000111112222
	000211112222
	000011112222
	000011112222
	000011112222
	000011112222
20	000011112222
	000011112222
	000011112222
	000011112222
	000011112222
	000011112222
	000011112222
	000011112222
	000211112222
30	02011112222

ングの評価」,九州工業大学工学部電気工学科,平成12年度卒業論文

- [6] 伊藤亘,生駒哲一,前田博,「動画像の開口問題への複数特徴点を用いた時系列フィルタリングによる一手法」,第17回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp161-164 (2001)
- [7] 市村直幸,生駒哲一,「逐次モンテカルロ法を用いた時系列画像から得られる特徴点の運動軌跡のスモーキング」,情報論的学習理論ワークショップ, pp33-38 (2000)
- [8] 生駒哲一,市村直幸,「動画像特徴量のフィルタリング」,統計数理研究所 共同研究レポート, pp69-78 (1999)
- [9] F.Chabat, G.Z.Yang and D.M. Hansell, "A coener orientation detector", Im and Vis.Comp, 17, pp761-769 (1999)
- [10] T.Kanade and D.D.Morris, "Factorization methods for structure from motion", Phil.Trans.R.Soc.Land.A 356, 1153-1173 (1998)
- [11] 生駒哲一,前田博,宮原靖武,伊藤亘,「動画像の複数特徴点を用いた状態空間モデルによる開口問題の一解法」,第3回日本ファジィ学会九州支部学術講演会予稿集, pp13-16 (2001)

参考文献

- [1] 徐剛,辻三郎,「3次元ビジョン」,共立出版,第2章, pp126-128 (1999)
- [2] 北川源四郎,「時系列解析プログラミング」,岩波書店, pp205-206 (1999)
- [3] 尾崎統,北川源四郎,「時系列解析の方法」,朝倉書店, pp93-94 (2000)
- [4] 北川源四郎,「モンテカルロ・フィルタおよび平滑化について」,統計数理 第44巻,第1号, pp31-48 (1996)
- [5] 伊藤亘,「動画像特徴点の時系列フィルタリ

連絡先

〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1
 九州工業大学 工学部 情報工学教室
 TEL/FAX (093)-884-3216
 E-mail: yasutake @sys2.comp.kyutech.ac.jp