

# 魚の群行動解析のための隠蔽前後の トラックレットの対応付け

村上 友一<sup>1</sup> 新里 高行<sup>2</sup> 川嶋 宏彰<sup>3</sup> 波部 斉<sup>4, 5</sup>

近畿大学大学院総合理工学研究科<sup>1</sup> 筑波大学システム情報系<sup>2</sup>

兵庫県立大学情報科学研究科<sup>3</sup> 近畿大学情報学部<sup>4</sup> 近畿大学情報学研究所<sup>5</sup>

## 1. はじめに

生物の生態を調べる際に個体の移動軌跡は非常に重要な情報の一つである。機械学習を用いたツールが広く用いられているが、個体同士の交差によって隠蔽が発生すると正しく追跡できなくなることが多い。

そこで本研究では隠蔽によって追跡に失敗した前後の部分的な移動軌跡(トラックレット)同士を対応付ける方法を検討する。対応付けのためには、移動軌跡が欠損している部分の位置をそれまでの観測データから予測し、再び観測できた位置と対応付けることになる。ここでは、欠損部分での位置の予測が重要になるので、本稿では過去の移動軌跡から欠損時の軌跡を予測(補間)するための手法を検討し、その精度を評価する。今回は群全体をトラックリングするのではなく、単一個体での追跡に着目する。予測モデルとしては等加速度運動モデルを用いた場合で実験を行い、トラックレットを正しく対応付けを行えるかを評価する。

## 2. カルマンフィルタによる運動モデル

トラックレットを補間するにあたり、手法としてカルマンフィルタ[1, 2]を使用する。今回は、等加速度運動モデルを採用する。

### 2.1 更新

まず、カルマンフィルタの更新式の下記に示す。これらの式を順番に計算を行うことで値を更新する。

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{z}^T - \mathbf{H}\bar{\mathbf{x}} \\ \mathbf{S} &= \mathbf{H}\mathbf{P}\mathbf{H}^T \\ \mathbf{K} &= \mathbf{P}\mathbf{H}^T\mathbf{S}^{-1} \\ \mathbf{x} &= \mathbf{x} + \mathbf{K}\mathbf{y} \\ \mathbf{P} &= (\mathbf{I} - \mathbf{K}\mathbf{H})\mathbf{P} \end{aligned}$$

ここでの $\mathbf{y}$ は観測値と予測値の残差、 $\mathbf{H}$ は観測行列、

Association of tracklets after occlusion for analysis of fish schooling behavior.

<sup>1</sup> YUICHI MURAKAMI, Graduate School of Science and Engineering, Kindai University.

<sup>2</sup> TAKAYUKI NIIZATO, University of Tsukuba.

<sup>3</sup> HIROAKI KAWASHIMA, University of Hyogo.

<sup>4</sup> HITOSHI HABE, Kindai University.

$\mathbf{P}$ は共分散行列、 $\mathbf{K}$ はカルマンゲイン、 $\mathbf{I}$ は単位行列を表す。 $\mathbf{z}$ は観測ベクトル、 $\bar{\mathbf{x}}$ は予測値を表し、後に求め方を述べる。

### 2.2 初期値

今回は状態ベクトル $\mathbf{x}$ を式(1)のように設定する。

$$\mathbf{x} = [x \ y \ v_x \ v_y \ a_x \ a_y]^T \quad (1)$$

式(1)の $x$ は $x$ 軸上の位置、 $y$ は $y$ 軸上の位置、 $v_{x,y}$ は $x, y$ 軸上での速度、 $a_{x,y}$ は $x, y$ 軸上での加速度を表す。初期値として代入する際に $x, y$ に初期位置、 $v_{x,y}$ に初期速度、 $a_{x,y}$ に初期加速度を代入する。また、共分散行列 $\mathbf{P}$ は式(2)の通りとする。

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 100 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 100 \end{bmatrix} \quad (2)$$

### 2.3 状態方程式

次に状態方程式を式(3)に示す。

$$\bar{\mathbf{x}} = \mathbf{F}\mathbf{x} \quad (3)$$

また、式(3)の $\mathbf{F}$ を次のように設定する。

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & dt & 0 & \frac{1}{2}dt^2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & dt & 0 & \frac{1}{2}dt^2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & dt & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & dt \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

ここで、式(4) $dt$ は経過時間を表す。式(3)の計算を行うことにより予測値である $\bar{\mathbf{x}}$ を得る。

### 2.4 観測方程式

観測方程式を式(5)に示す。

$$\mathbf{z} = \mathbf{H}\mathbf{x} \quad (5)$$

ここで、観測行列 $\mathbf{H}$ を式(6)のように設定する。

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式(5)の $\mathbf{z}$ は状態ベクトルの $x, y$ を取り出した観測ベクトルとなっている。

## 3. 実験内容

実験ではアユを撮影した映像を用いる。生物映

像解析に用いられているトラッキングソフトウェア TRex[3]を使用してアユの移動軌跡を獲得した。今回は単一の個体に着目し、その中で一部の軌跡が隠蔽によって欠落しているとしてトラックレットを得る。得られた欠損前のトラックレットデータに等加速度運動モデルのカルマンフィルタを適用して欠損時の軌跡を予測する。

#### 4. 実験結果

50 フレーム, 100 フレーム, 200 フレームのトラックレットが欠損した想定で実験を行う。50 フレーム欠損したデータを図1, 100 フレーム欠損したデータを図2, 200 フレーム欠損したデータを図3に示す。図4は魚が急な方向転換したときのトラックレットが200 フレーム欠損したデータである。さらに, 定量評価として欠損フレーム数を50, 100, 200のそれぞれについて8個データを用意し, 予測データの最終座標と欠損後の観測座標との距離の平均値を求めた。その結果を表1に示す。

表1 予測座標と観測座標の距離(画素)

	50 フレーム	100 フレーム	200 フレーム
座標間の距離	0.60	1.05	2.81

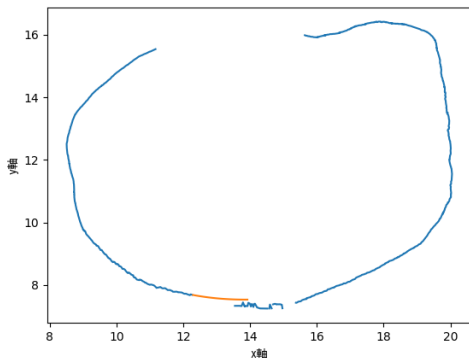


図1 50 フレーム欠損データ

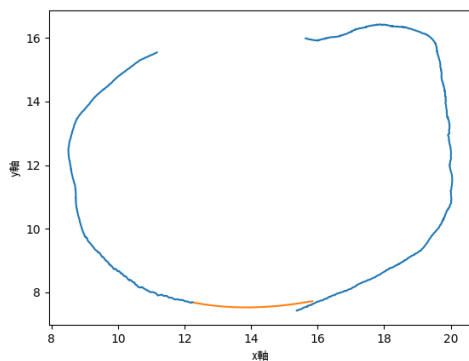


図2 100 フレーム欠損データ

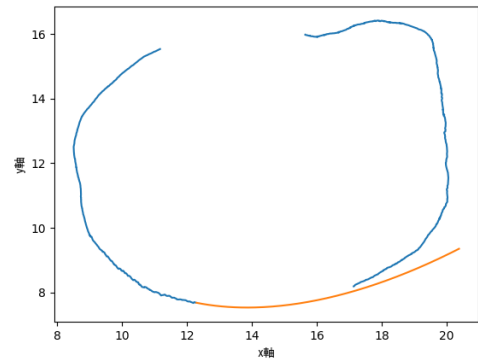


図3 200 フレーム欠損データ

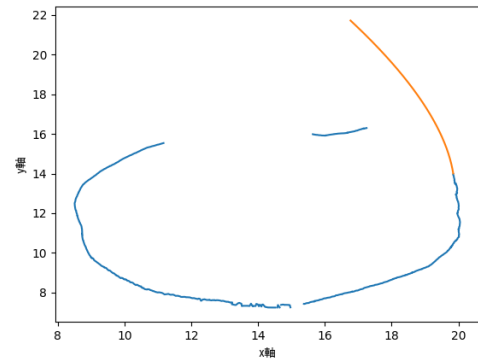


図4 急な移動時(200 フレーム)欠損データ

#### 5. まとめ

今回の実験結果で 50, 100 フレームの欠損に関して, ある程度は補間できていると考える。しかし, 欠損部分が 200 フレームになるとずれが大きくなり, 十分に補間ができなくなる。図4のように欠損時に遊泳方向を大きく変化させている場合にその傾向が大きくなる。これらの結果より, 等加速度運動モデルでは限界があることが分かる。今後は魚の姿勢データを用いることで等加速度運動モデルで生じたずれを正しく修正することを目指す。

本研究の一部は科研費 JP21H05302 の補助を受けて行った。

#### 参考文献

- [1] R.E.Kalman, "On the general theory of control systems", IFAC Proceedings Volumes, 1960, Vol1, p.491-502.
- [2] 足立修一, "古くて新しいカルマンフィルタ", 計測と制御, 2017, 56 巻, 9 号, p.630-631.
- [3] Tristan Walter, Iain D Couzin, "TRex, a fast multi-animal tracking system with markerless identification, and 2D estimation of posture and visual fields", 2021.