

## ミツバチ歩行軌跡の複数個体同時追跡アルゴリズムの検討

高橋伸弥<sup>†</sup> 井手翔太<sup>†</sup> 鶴田直之<sup>†</sup> 藍浩之<sup>‡</sup>  
 福岡大学工学部<sup>†</sup> 福岡大学理学部<sup>‡</sup>

## 1 はじめに

蜜を得て巣に帰ってきたミツバチは、尻振りダンスと呼ばれる翅を振動させながら尻を振って歩く動きやその歩行軌跡の形状や大きさなどで蜜の所在地を仲間のミツバチに伝えていることが知られている<sup>[1]</sup>。この情報交換のメカニズムを解明することは、ミツバチの社会性を理解するうえで生物学上の重要なテーマとなっている。これまでに、巣内の複数のミツバチの行動を、画像処理を用いてモニタリングする手法の提案がなされている<sup>[2][3]</sup>が、密集した巣内における複数のミツバチの歩行軌跡を同時に追跡することは、個体同士の接触や他の個体による遮蔽により軌跡が交差したり消失したりするため非常に難しい問題となっている。一方、個々の個体を識別することで、交差や遮蔽に対してロバストに軌跡を追跡する手法が提案されている<sup>[4]</sup>が、対象はミツバチ以外の小動物（ネズミや魚など）となっており、その対象とする数も10個体程度と少ない。

これまで我々も、密集した巣内の動画像中から個々のミツバチを高精度に検出する手法について検討を行ってきた<sup>[5]</sup>。本稿では、文献<sup>[5]</sup>の手法を拡張した複数の軌跡を同時に追跡する手法を提案し、その有効性を検討する。

## 2 提案手法

基本的なアイデアは、ミツバチの巣内の行動を撮影した動画像の各フレームからミツバチ個体領域を検出し、隣接するフレーム間において検出された領域の対応関係を求め、最終的にそれらを繋ぎ合わせて複数軌跡を同時に追跡しようというものである。

ミツバチの個体領域の検出には、AdaBoost<sup>[6]</sup>をベースとしたカスケード型識別器を用いることとし、Haar-like特徴によりミツバチ腹部の特徴的なパターンをモデル化する。

文献<sup>[5]</sup>で試みた、動画像中の各フレームにおいてミツバチ領域を個別に検出しながら追跡す

る手法では、複数の軌跡が近接したり交差したりするケースで他の個体の軌跡と取り違えるなど容易に誤検出が生じることから、複数の検出領域を隣接フレーム間で最適に対応付けながら同時追跡することを考える。

ここで、時刻 $t$ における $i$ 番目の検出領域を $b_i^{(t)}$ とすると、フレーム間での最適な対応付け問題は、重複を許さずに求めた $i-j$ の組み合わせ $c(i,j)$ に対して、 $b_i^{(t)}$ と $b_j^{(t-1)}$ との間での類似度 $s(i,j)$ の総和を最大にするような問題として以下のように定式化できる。

$$\max \sum_{i,j} \{s(i,j) \cdot c(i,j)\},$$

$$\text{s.t. } c(i,j) \in \{0,1\}, \sum_{i=1}^N c(i,j) = 1, \sum_{j=1}^N c(i,j) = 1.$$

この問題は、2集合間の対応関係を表した2部グラフにおける最適マッチング問題と見做すことができるため、ハンガリー法<sup>[7]</sup>を用いて $O(N^3)$ で解くことが可能である。ハンガリー法では2つの集合の要素数が等しい必要があるが、各フレームで検出される領域数は異なるため、隣接するフレームでの領域数が等しくなるようダミーの領域を追加しておくこととする。また領域間の類似度の計算においては、以下の式を用いている。

$$s(i,j) = (1 - h(i,j)) \times \exp\left(-\frac{d(i,j)^2}{2\sigma^2}\right)$$

ここで、 $h(i,j)$ は、検出領域の中心部(サイズ $24 \times 24$ )間のヒストグラムをBhattacharyya距離に基づき比較した距離であり、 $0 \sim 1$ の値をとる。また $d(i,j)$ は、検出領域の中心座標間のユークリッド距離を示し、第2項の指数部で距離制限を与えている。なお $\sigma$ の値はミツバチの移動速度を考慮し7とした。以上の処理を $t=1 \sim T$ に対して行った後、対応付けされたそれぞれの領域を順にたどることで、複数の軌跡の同時検出を行う。このとき、類似度0で対応付けされた領域は、軌跡検出の対象外とする。

上記の手法で検出された軌跡は、領域検出の失敗などが原因で断片的な軌跡になる場合があると予想される。そこで、検出結果の軌跡のうち、終点時刻と始点時刻が一定の範囲内の軌跡に対して、終点・始点領域間で類似度を計算し、その最適なマッチングを隣接フレーム間での領域マッチングの計算と同様、ハンガリー法で求め、軌跡を接続する。

### 3 実験

ミツバチ識別器は、OpenCV2 の `traincascade` を用いて Gentle Boosting 法により学習した。学習に用いた正解画像、不正解画像の数はそれぞれ 2000 枚である。ミツバチの巣内を撮影した動画画像から数フレームを抜き出した後、ミツバチの腹部画像を手動で切り出して、それらを回転させた画像も加えて正解画像とした。また今回は巣内の画像のみを対象としていることから、不正解画像はミツバチ以外の背景画像から抽出した。

提案手法を用いて、30 秒間 900 フレームの入力動画（サイズ 1920x1080）に対する実験を行った。ミツバチ個体領域の検出結果を図 1 に示す。目視で 299 頭のミツバチが存在する画像（入力動画の 1 フレーム目）に対して、検出結果の領域数は 384 となった。そのうち正しく検出した数は 290（図 1 白色の矩形領域）、ミツバチの腹部と重複して胸部を検出している例（黄色の矩形領域）は 64、背景の巣穴や画像下部のスケールを誤検出している例（赤色の矩形領域）は 30 となった。また検出できなかったミツバチ（黄色の円形領域）は 9 頭であり、その多くはフレームの端で体全体が写っていないケースであった。結果として、ミツバチ領域の検出正解率は 97.0%、検出精度は 75.5%となった。

歩行軌跡同時追跡実験の結果を図 2 に示す。ここでは、追跡結果の軌跡のうち、追跡フレーム長の上位 50 個の軌跡を示している。図より、尻振りダンスに特徴的なジグザグ歩行や回転歩行をしている軌跡が検出できていることがわかる。軌跡検出の途中で識別器の検出誤りにより追跡できなくなった例も見られたが、断片的な軌跡を接続することで、ある程度は検出できることが確認できた。

### 4 おわりに

本稿では、密集した巣内の画像中から、複数のミツバチの歩行軌跡を同時に追跡することを目的として、ミツバチの画像特徴を用いたカスケード型識別器によりミツバチの位置を検出し、隣接フレームにおける検出領域間の最適マッチングを行うことで軌跡を追跡する手法を提案し

た。実験の結果、本手法が有望なことが確認できた。今後はさらに学習データを増やし精度を向上させること、検出結果の精度に関して分析を進めること、また本手法による結果をミツバチの行動解析へと応用することを検討する予定である。

### 参考文献

- [1] 岡田, “ミツバチの尻振りダンスと採餌行動における効果,” 比較生理生化学, vol. 29, no. 3, pp. 121-130, 2012.
- [2] T. Kimura, *et. al.*, “A new approach for the simultaneous tracking of multiple honeybees for analysis of hive behavior,” *Apidologie*, Vol. 42, pp. 607-61, 2011.
- [3] Z. Khan, *et. al.*, “A Rao-Blackwellized Particle Filter for Eigentracking,” *Proc. IEEE Conf. CVPR*, Vol. 2, pp. 980-986, 2004.
- [4] A. Pérez-Escudero, *et. al.*, “idTracker: tracking individuals in a group by automatic identification of unmarked animals,” *Nature Methods*, Vol. 11, pp. 743-748, 2014.
- [5] 高橋他, “カスケード型識別器を用いたミツバチの歩行軌跡検出手法の検討,” 電気情報関係学会九州支部連合大会講演資料集, 10-2A-08, 2014.
- [6] P. Viola and M. J. Jones, “Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features,” *Proc. IEEE Conf. CVPR*, Vol. 1, pp. 511-518, 2001.
- [7] H. W. Kuhn, “The Hungarian Method for the Assignment Problem,” *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 2, pp. 83-97, 1955.

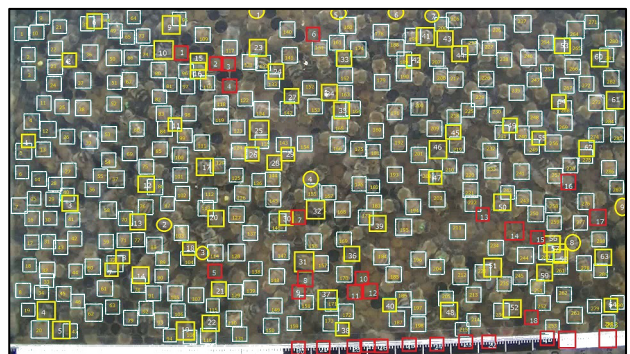


図 1 ミツバチ領域の検出結果

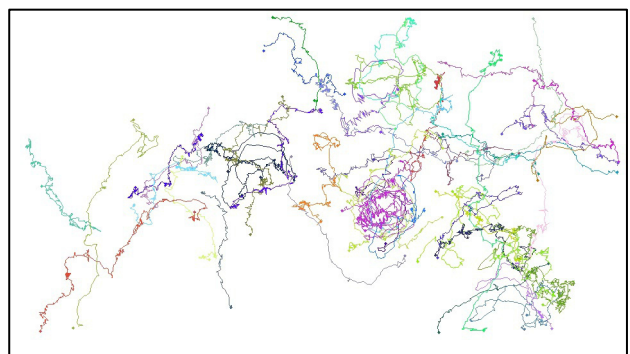


図 2 複数軌跡の同時追跡結果