

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500207

研究課題名(和文) マラリア媒介体・羽斑蚊の行動分析に向けた動画像検出・追跡処理技術の構築

研究課題名(英文) Construction of Detection and Tracking Methods for Analyzing of Motion of Anopheles

研究代表者

高橋 悟 (TAKAHASHI, SATORU)

香川大学・工学部・教授

研究者番号：50297579

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：節足動物である羽斑蚊の行動を観測し、分析するために必要な高精度動画像検出・追跡処理技術の構築を図った。特に、環境の明るさ変動による画像輝度変化や羽斑蚊の非線形運動に伴う見かけ上の形状変化に対応し、かつその非線形運動を考慮した移動位置推定を視野に入れた新たな手法を確立した。これにより、複数の羽斑蚊の同時検出・追跡を行い、その行動分析を可能にする。このとき、方向符号照合法や新たな定義に基づく粒子フィルタ法を適応し、羽斑蚊の検出・追跡を高精度に行った。

研究成果の概要(英文)：We considered the highly accurate dynamic image processing for the detecting and the tracking to observe the motion of anopheles such as arthropod and to analyze them. Especially, we established new method which is corresponded to the brightness change of image data caused by environment change, the shape variation based on a nonlinear moving of the anopheles, and the estimation of position of the anopheles, respectively. As a result, based on the simultaneous detection and the tracking for two or more anopheles, the action analysis was enabled. Then, by using the orientation code matching and the particle filter, the detection and the tracking of anopheles were done with high accuracy.

研究分野：情報学、知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：画像認識 画像理解 方向符号照合法 粒子フィルタ

1. 研究開始当初の背景

マラリア媒介体である羽斑蚊の行動観測・挙動分析を行うためには、長時間に渡り撮影した動画像を人が目視にて時系列的に丹念に調べ、羽斑蚊の検出・追跡を行い、その特徴量を抽出する必要がある。そのため、動画像を解析するだけに莫大な時間が掛かり非効率であり、またヒューマンエラーによる誤認識を誘発する。従って、動画像中の羽斑蚊を効率良く、かつ高精度に自動検出・追跡を可能とする動画像処理技術を構築し、かつ羽斑蚊を特徴量に基づき自動観測する手法を確立することは重要な課題である。特に、羽斑蚊の行動特徴に適応した動画像処理技術を構築することは、マラリア原虫の感染経路を解明するために、非常に有効である。現在、羽斑蚊の運動能力、交尾の仕方、さらに発生メカニズムは、世の中において知られていない。このため、世界保健機関において、「全世界 100 カ国以上において、推定 3~5 億人がマラリアに感染し、死者数は年間約 150~270 万人になる。」と報告（国立感染症研究所資料）がある。さらに、羽斑蚊個体の生物学的解明も未解決の部分が多く、近年、ようやく口は熱センサの役割を担っていることが解剖や動画像分析等にて確認された。このように、国内外を問わず、各医療機関の疫学・衛生動物学分野において、より高精度・効率よく動画像解析手法を用いた羽斑蚊の生物学的特徴や行動理解することが求められていた。

2. 研究の目的

マラリア原虫を媒介する節足動物・羽斑蚊の行動を観測し、分析するために必要な高精度な動画像検出・追跡処理技術の構築を図る。特に、環境の明るさ変動による画像輝度変化や羽斑蚊の非線形運動に伴う見かけ上の形状変化に頑健であり、かつその非線形運動を考慮した移動位置推定を視野に入れた新たな動画像処理手法の確立を目指す。これにより、動画像上の複数の羽斑蚊の同時検出・追跡を行い、その行動分析をより明確に実施可能にする。このとき、方向符号照合法や新たな定義に基づく粒子フィルタ法を適応し、羽斑蚊の検出・追跡を高精度に行い、動画像中に複数存在する羽斑蚊個体を個々に検出し、かつ複数同時の追跡を行い、その生態の解明に寄与したい。

3. 研究の方法

本申請では、環境変化から生じる輝度変動や羽斑蚊の非線形運動に伴う領域変動に対応する個体検出・追跡手法の構築を行い、かつ複数の羽斑蚊を同時に挙動解析する手法の確立を行った。非線形運動を伴う羽斑蚊を追跡するために、方向符号照合法に基づき個体検出を実施し、かつ最適尤度関数による粒子フィルタを適用し、各個体の同時追跡を実施した。これにより、羽斑蚊の生態観測を高

精度・高効率に達成することが可能とした。次の各項目に従い、研究開発を進めた。

(1) 複数の羽斑蚊の同時検出手法の確立

羽斑蚊個体の検出精度を向上させるために、方向符号照合法に対してマルチテンプレート手法を取り入れ、得られたフレーム間の照合位置に基づき正確な移動量を算出し、その移動量を個別比較することで、複数の羽斑蚊の個体識別を実施した。このとき、フレーム間の羽斑蚊の画像領域変動に対応するため、方向符号から導出される豊富度を適用する。ここで、豊富度画素の一例を図 1 に示す。豊富度が高い画素が輝度値を明るく表示されている。

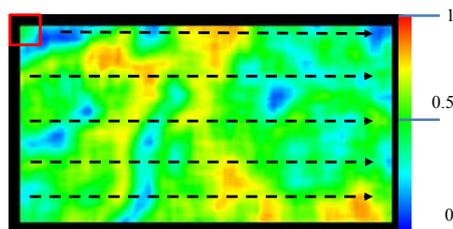


図 1 豊富度データ例

(2) 複数の羽斑蚊の同時位置推定と追跡手法の確立

羽斑蚊に対する方向符号ヒストグラムと微小時間における羽斑蚊の運動評価式に基づき、粒子フィルタの最適な尤度関数を各々設計する。さらに、設計した尤度関数を合成することにより、羽斑蚊の位置推定を行う。これを複数の羽斑蚊個々に施し、個体毎の位置推定を実施する。

ここで、

$$L_D^{(l)} = \exp\left(-\frac{D_l^2}{2\sigma_D^2}\right), \quad D_l = \sqrt{(i'_k - i_p^{(l)})^2 + (j'_k - j_p^{(l)})^2}$$

$$L_{d'w}^{(l)} = \exp\left(-\frac{d'_{wl}{}^2}{2\sigma_{d'w}^2}\right), \quad d'_{wl} = 4\bar{d}_{wk} + 4$$

を合成積した尤度関数を用いる。 $L_D^{(l)}$ は羽斑蚊の推定位置と各粒子との距離を評価した尤度関数を意味し、 $L_{d'w}^{(l)}$ は方向符号照合法のマルチテンプレートに基づく尤度関数を定義した。

さらに、羽斑蚊の存在位置を確定し、時系列的に個体毎の追跡を実施する。

(3) 処理時間の高速化

動画像処理のリアルタイム性を考慮するために、方向符号照合時の計算処理量を減少させるために、照合領域の最小サイズを適宜算出し、さらに必要なテンプレート数を選択することで、方向符号計算の時間低減を図った。また、粒子数の限定を行い、粒子フィルタ計算量を抑え、高速化を実施した。

4. 研究成果

(1) 複数の羽斑蚊の同時検出手法の確立

羽斑蚊個体の検出を高精度に行うために、方向符号照合法に対してマルチテンプレート手法を導入したことで、背景情報による誤検出の低減化を可能とした。このとき、現時刻における対象画像と現時刻前におけるテンプレート画像数を用いた方向符号の比較を行い、各テンプレート画像と対象画像の平均残差絶対値を求めた。さらに、テンプレート枚数より得られた平均残差絶対値の平均値を方向符号照合に適用し、高精度な羽斑蚊検出を実施した。図2を参照。左は原画、右は方向符号に基づき抽出した羽斑蚊を示す。

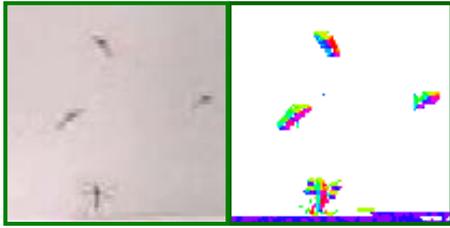


図2 検出例

このとき、マルチテンプレート照合次に、得られた羽斑蚊の検出位置を画像間において、方向符号の残差絶対の総和から移動量と移動角を求め、各個体の照合位置毎に比較し、複数の羽斑蚊の個体識別を実施した。さらに、画像エッジのエントロピーを定義する豊富度に従い、画像間の羽斑蚊の領域変動に対処した。

(2) 複数の羽斑蚊の同時位置推定と追跡手法の確立

位置推定に際し、非線形運動の推定に有効である粒子フィルタを用いた。このとき、方向符号の有効ヒストグラムと微小時間における運動予測式に従い、各尤度関数を決定し、統合することで粒子フィルタの最適尤度関数を定義した。このとき、ヒストグラム交差法から最適評価式を定め、それに伴う尤度関数を定義する。有効符号の尤度を基に定めるため、参照画像と対象画像が近いとき、その尤度は高くなる。さらに、羽斑蚊の微小時間内における運動を等速と仮定し、尤度関数を設計した。このときの尤度は推定位置と粒子分布の距離に近いほど、その尤度を高く取る。

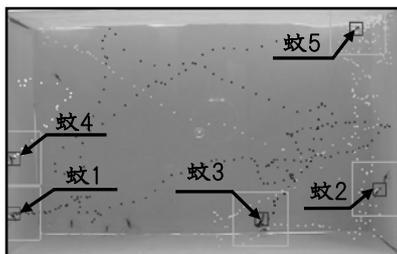


図3 追跡対象の例

これら二つの尤度関数を合成し、位置推定のための粒子フィルタの尤度関数にて最適化した。図3に時系列に追跡した各羽斑蚊の軌跡を示す。

(3) 処理時間の高速化

計算処理時間を低減し、リアルタイム処理を行うために、羽斑蚊の探索照合領域の最小化を実施した。さらに、実験的に適時検出・追跡可能なテンプレート枚数を設定し、照合正解率を落とさないように定めた。

さらに、粒子フィルタの粒子数を、探索領域内に存在する羽斑蚊の個体数と粒子によるフレーム毎の計算量の相違を比較しながら、必要な粒子数を定めた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1件)

① 奥田泰丈、高橋悟、川端邦明、金子俊一、細胞観測のためのバイオイメージング手法、計測自動制御学会、査読有、Vol. 50、No. 5、2014、pp. 424-431

[学会発表] (計 6件)

① 高橋悟、Method of position measurement for stationary sensor node based on marine tag、IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics、2015年7月7日～11日、釜山市(韓国)

② 高橋悟、Dynamic feature point in ocean-Marine tag-、Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision、2014年2月4日～6日、沖縄工業高等専門学校(沖縄県名護市)

③ 高橋悟、Behavior tracking method for medaka observation、International Symposium on Optomechatronic Technologies 2013、2013年10月28日～30日、済州市(韓国)

④ 高橋悟、Advanced statistical reach feature and its application to the cricket observation、International Symposium on Optomechatronic Technologies 2013、2013年10月28日～30日、済州市(韓国)

⑤ 高橋悟、方向符号と粒子フィルタを併用した細胞検出・追跡手法、動的画像処理実利用化ワークショップDIA2013、2013年03月07日～2013年03月08日、静岡大学(静岡県浜松市)

⑥ 高橋悟、Dynamic vision based-tracking for behavior observation、The 2012

International Symposium on Nonlinear
Theory and its Applications、2012年10月
22日～2012年10月26日、パルマ・デ・マ
ヨルカ市（スペイン）

〔図書〕（計 0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0件）

○取得状況（計 0件）

〔その他〕

特にありません。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 悟 (TAKAHASHI SATORU)

香川大学・工学部・教授

研究者番号：50297579

(2) 研究分担者

金子 俊一 (KANEKO SHUNICHI)

北海道大学・工学部・教授

研究者番号：50134789