

合鴨農法のための動画像認識技術による害鳥の行動分析と 行動適応型防除システムの構築

代表研究者 古賀 崇 了 徳山工業高等専門学校 情報電子工学科 助教
共同研究者 内野 英 治 山口大学大学院 理工学研究科 教授

1 はじめに

近年、「安全な食」の提供を目的として、合鴨農法[1]等の有機農法が広がりを見せている。合鴨農法とは、水稲作において、合鴨を利用して減農薬・無農薬を実現する農法の一つである。合鴨農法では、田植えの時期に、合鴨を水田中で放飼する。放飼された合鴨は、雑草や害虫を餌として食し、その排泄物が稲の養分となる。これにより、化学肥料・農薬の不使用によるコストの低減および、化学肥料による稲の弱体化などを回避でき、病虫害の低減も計られる。また、合鴨農法では、成鳥に育った合鴨を食肉用として出荷できるという点でも農家に利益をもたらす。

しかしながら、合鴨農法には、野犬・たぬきなどの害獣や、カラスなどの害鳥から合鴨が捕食されるという問題点がある。合鴨の雛一匹の値段は数百円程度であり、一度に数十匹から数百匹程度の雛を放飼する。放飼の前には、給餌や馴致などを行い、合鴨を人に慣れさせておく手間がかかる。したがって、実際に使える状態にまで育てた合鴨を捕食されることは、経済面および労務面で農家の大きな負担になる。

合鴨を天敵から守る対策として、これまでに様々な方法が考案・実践されている[2]。害獣に対しては、電気柵などにより、高い防除効果が得られることがわかっている[3]。一方、害鳥の防除については、カカシ・テグスなどの受動的な手法や、音や光で害鳥を威嚇して、能動的に防除を行う装置が開発されてはいる[4]。しかしながら、それらの手法や装置に害鳥が「慣れる」ことにより、効果的な防除効果が得られにくいことがわかっている[5]。

「防除手法や装置への慣れ」をなくすためには、害鳥が攻撃行動や採餌行動を起こした際に、適応的に強い光や音などによる忌避的刺激を与える必要がある。これにより、害鳥が、適応的防除装置を備えた農場の危険性を学習し、当該地域周辺から縄張りを移動することが期待される[6, 7]。上述の適応的防除装置を実現するために、カラスなどの大型害鳥が合鴨の群れに近づいたか否かを自動で判別し、適応的に忌避的刺激を与えるシステムを提案する。適応的防除装置の全体像を図1に示す。このシステムは、移動体追跡技術を用いてカラスなどの大型害鳥の追跡処理を行う装置と、害鳥が検出された際に忌避的刺激による撃退処理を行う装置の2つの要素から構成される。後段の忌避的刺激による撃退処理には既存の装置を用いることができるため、本報告では特に前段の移動体追跡技術による大型害鳥の追跡処理について述べる。

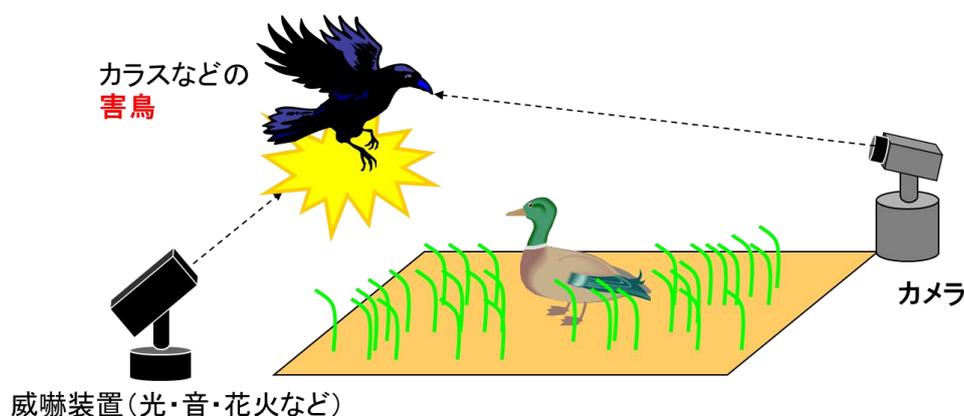


図1 適応型防除システムの概要

表1 適応的防除に必要なとされる動画像処理の条件と Mean-shift 法の性質

適応的防除のために必要な条件	Mean-shift法の性質
複数の物体の同時追跡	トラックを個別に設置すれば、複数の物体を同時に追跡できる
形状が変化する物体を追跡できる	色に基づいて追跡を行うため、追跡対象の形状変化に強い
リアルタイム処理	計算負荷が小さい

カメラを用いてカラスを捕捉する場合、該当地域周辺のすべての空をカバーすることは難しい。しかしながら、カラスは高所から獲物を物色してから襲いかかるといった習性があるため、カラスがとまり木として利用している電線などの場所をカメラで監視することにより、合鴨を捕食しようとするカラスを見つけ出せると考えられる。カラスが高所から下方へ高速移動する動作を検出した際に、カラスが捕食動作をとったと判断して威嚇装置を作動させることにより、防除が可能となる。カラスの移動方向や速度を観測するためには、高精度なトラッキング処理が必要となる。また、カラスは羽ばたきや方向転換によって常にその形状が変化している。さらに、人の歩行などに比べて移動が極めて高速である。したがって、捕食動作を検出するためには、高速かつ形状が変化する飛翔体を追跡できなければならないという技術的課題が挙げられる。動画像処理の分野において、上述したような条件に適した手法として Mean-shift トラッキングがある[8]。Mean-shift トラッキングは、高速で移動する物体を追跡でき、色情報によって追跡を行うため追跡対象の形状変化に対して頑強であることから、移動体追跡の分野において広く使われている。また、局所的な探索によって目標の追跡を行うため、計算時間が短いという特徴がある。Mean-shift 法は、1 フレーム前の画像上で追跡対象が存在した位置にトラックを置き、カラー・ヒストグラムの近似度に基づく局所的な探索によって、現フレームでのトラックの位置を決定する。そのため、新たな追跡対象がカメラの視野に侵入してきた場合、Mean-shift 以外の方法でその場所を特定し、トラックの初期位置を決定する必要がある。これまでに、初期位置決定には人の操作や背景差分[9,10]、Haar-Like 特徴量による顔認識[11]などが使用されてきた。本研究では、フレーム間差分を用いてトラックの初期位置を決定する方法を用いる。また、フレーム間差分によって抽出した領域からカラー・ヒストグラムを作成し、これを追跡対象のヒストグラムとして用いる。

追跡対象のカラー・ヒストグラム作成は常に成功するとは限らない。例えば、トラックの初期位置のズレにより、背景領域からヒストグラムを作ってしまう場合もある。ヒストグラム作成に失敗した場合には、追跡の失敗と再捕捉が繰り返されるなど、追跡が不安定な状態がしばらく続く。カラスは高速で移動しており、2・3 回初期位置決定に失敗しただけでも、その間に画面を半分ほど横切ってしまう。適応的防除においては、カラスが合鴨を襲うよりも先に威嚇装置を作動させる必要があるため、カラスが動き始めた直後から正確な追跡がなされねばならない。この問題に対応するために、過去にその動画中を飛んだカラスの色情報を保存しておき、カラスがフレームインする前から追跡対象のカラー・ヒストグラムを作成しておくという方法を提案した。ここでは、過去の色情報から作成したヒストグラムをプリセット・カラー・ヒストグラムと呼ぶ。

本報告では、Mean-shift を用いたカラスの追跡において、プリセット・カラー・ヒストグラムがどの程度有用であるかを確認するために、(1) 真陽性率(TPR) と偽陽性率(FPR) による評価、(2) 正解座標とトラックの座標の差による評価、(3) 安定した追跡に成功するまでの時間による評価の3つの観点から評価を行った結果について述べる。(1) と(2) はプリセット・カラー・ヒストグラムを導入したことによって基本的な追跡精度が落ちていないことを確認する実験であり、(3) はプリセット・カラー・ヒストグラムを導入した当初の目的を実証する実験である。すなわち、カラスのフレームイン直後における追跡の不安定性への対策が実際に効果を上げているかを確認する実験である。

2 Mean-shift 法を用いたカラスの追跡

本研究で提案する適応的防除システムの検出部に求められる条件と、Mean-shift 法 が持っている性質との対応関係を表1 に示す。適応的防除の検出部分には、カラスの動きを高精度にトラッキングするだけの性能が必要となる。カラスは羽ばたきなどによって、常にその形状が変化している。また、歩行中の人など日

常的な場面で観測される物体より移動速度が速い。そして、適応的防除を行うためには、トラッキングの処理をリアルタイムで行い、カラスが合鴨を捕食するより先に威嚇装置を作動させる必要もある。

Mean-shift トラッキングはこれらの適応的防除に必要とされる性能を全て満たしている。Mean-shift トラッキングは追跡対象のカラー・ヒストグラムの類似度に基づいて追跡を行うため、追跡対象の形状変化に対して頑強である。また、高速で移動する物体も追跡でき、物体がその全長と同じ距離を1フレームの間に移動したとしても、追跡が可能である。そして、Mean-shift トラッキングは1フレーム前で物体が有ると判別された場所の周辺のみを探索領域して追跡を行う、新しいフレームが入力されるたびに動画像中の全領域を処理する場合に比べて計算負荷が少なく、一般的なパーソナルコンピュータ(PC)でもリアルタイムでの処理が可能である。

2-1 Mean-shift トラッキング

(1) カラー・ヒストグラム

Mean-shift トラッキングでは、カラー・ヒストグラムの類似度によって探索範囲内のピクセルに重み付けを行い、局所的な重みの分布に対する山登り計算によって追跡を行う。この処理には、計算時間が短い、追跡対象の形状変化に対して頑強である、などの長所がある。

Mean-shift トラッキングでは、追跡対象となる物体を囲む位置に Mean-shift 以外の方法で初期ウィンドウを配置する必要がある。本研究では、3フレームを用いたフレーム間差分によって初期ウィンドウの位置を決定する。初期ウィンドウの位置を決定した後、そのウィンドウ内の輝度値のヒストグラムをRGB成分ごとに作り、それをテンプレートとする。このヒストグラムは、横軸に輝度値を、縦軸にウィンドウ中での各輝度値の出現頻度をとったものである。次のフレームが入力されたとき、1つ前のフレームでウィンドウに囲まれていた場所に相当する領域から、同じくRGB成分ごとにヒストグラムを作る。今後の処理はRGB成分ごとに同一の処理を繰り返すため図中では一つのヒストグラムを使用する。今後、追跡対象の正規化カラー・ヒストグラムを \mathbf{q} , \mathbf{x}_0 を中心とした探索範囲における正規化カラー・ヒストグラムを $\mathbf{p}(\mathbf{x}_0)$ と表記する。これらのカラー・ヒストグラムは総和が1になるように正規化されているものとする。

(2) 重み付け頻度

追跡対象画像の端の部分にはカラスのみでなく背景も写っている。したがって、カラー・ヒストグラムを作る際は、対象の画像の端の部分の色情報は無視し、中央部分の色情報を優先的にヒストグラムへと反映させる必要がある。そこで、重み関数 $k(\mathbf{x})$ を追跡対象の画像にかけ合わせ、中央の値に重みをつけたカラー・ヒストグラムを作成する。重み関数にはガウスカーネルや Epanechnikov カーネルが使用される。今回は、計算を簡便にするため、重み関数には Epanechnikov カーネルを使用した。Epanechnikov カーネルの定義式を式(2.1)に示す。

$$E(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 - \mathbf{x} & \mathbf{x} \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.1)$$

追跡対象の重み付け頻度を用いたヒストグラムは式(2.2)によって計算される。

$$\mathbf{q}_u \propto \sum_{\mathbf{x} \in S(u)} K(\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_c\|^2) \quad (2.2)$$

$S(u)$ は追跡対象の画像において、輝度値が bin u に属する画素の集合、 \mathbf{x}_c はトラックの中心の座標、 $K(\mathbf{x})$ は重み関数を示す。本研究では、カーネル関数に Epanechnikov カーネルを採用しているため、 $K(\mathbf{x}) = E(\mathbf{x})$ となる。 $\mathbf{x} - \mathbf{x}_c = 0$ となる領域の中心部分は K の値が1であるため、1つのピクセルはそのまま1ピクセルとして扱われるが、領域の周辺部分では、 K が0.3や0.1などの値をとるため、1つのピクセルがある輝度値をとっていたとしても、ヒストグラムの bin には0.3など小さい数が bin に加算される。

(3) ヒストグラム間の類似度

ヒストグラム間の類似度は、各ヒストグラムの平方根をとり、その内積を取ったものと定義する。 $\mathbf{p}(\mathbf{x}_0)$ と \mathbf{q} の類似度を式(2.3)に示す。

$$\rho(\mathbf{p}(x_c), \mathbf{q}) = \sqrt{\mathbf{p}(x_c)} \cdot \sqrt{\mathbf{q}} \quad (2.3)$$

\mathbf{x}_c は探索領域の中心座標を表すベクトル、 $\mathbf{p}(x_c)$ は \mathbf{x}_c を中心とした探索範囲における正規化カラー・ヒストグラム、 \mathbf{q} は追跡対象の正規化カラー・ヒストグラムである。 $\mathbf{p}(x_c)$ と \mathbf{q} は共に総和が1になるように正規化されているため、類似度 $\rho(\mathbf{p}(x_c), \mathbf{q})$ は両者が完全に同一だった時に1を、全く重なる部分が無かった時に0をとる。 \mathbf{x}_c を中心とした領域のカラー・ヒストグラムと追跡対象のカラー・ヒストグラムとの間で類似度を計算し、その値をピクセル \mathbf{x}_c の重みとする。Mean-shift トラッキングは1フレーム前でトラックが存在した領域周辺のピクセルに重みをつけ、重みの局所的な最大値に向かってトラックを移動させていくことで追跡を行う。

(4) 勾配ベクトル

探索領域内の全てのピクセルで重みを直接計算した場合、計算に多くの時間がかかる。そこでMean-shift トラッキングでは重み分布の勾配を求め、トラックの移動方向を直接算出している。 $\mathbf{p}(x_c)$ と \mathbf{q} の類似度は、以下の式によって定義されている。ヒストグラムを表す文字に右下添字の u をつけた場合は、そのヒストグラムの特定 bin u の値を表しているものとする。

$$\rho(\mathbf{p}(x_c), \mathbf{q}) = \sqrt{\mathbf{p}(x_c)} \cdot \sqrt{\mathbf{q}} = \sum_u \sqrt{p_u(x_c)} \cdot \sqrt{q_u} \quad (2.4)$$

式(2.4)を、 \mathbf{x}_{c0} を開始点としてテイラー展開する。 \mathbf{x}_c は \mathbf{x}_{c0} 周辺ではほぼ同じ値をとっていると仮定し一次導関数までを計算に用いることで、最終的には以下の二つの式が得られる

$$\omega(\mathbf{x}) = \sum_{u=1}^m \delta(b(\mathbf{x}) - u) \frac{\sqrt{q_u}}{\sqrt{p_u(x_{c0})}} \quad (2.5)$$

$$\Delta \mathbf{x} = \frac{\sum_x k(\mathbf{x} - \mathbf{x}_c) \omega(\mathbf{x}) (\mathbf{x} - \mathbf{x}_c)}{\sum_x k(\mathbf{x} - \mathbf{x}_c) \omega(\mathbf{x})} \quad (2.6)$$

Mean-shift トラッキングでは式(2.6)によって計算された方向に、トラックを動かしていく。計算とトラックの移動は、 $\Delta \mathbf{x}$ があらかじめ決めておいた閾値より小さくなるまで繰り返される。特に $K(\mathbf{x}) = E(\mathbf{x})$ の場合、 $k(\mathbf{x})$ は単位円の外で0、中で1となるため、式(2.6)は

$$\Delta \mathbf{x} = \frac{\sum_{\mathbf{x} \in \text{単位円}} \omega(\mathbf{x}) (\mathbf{x} - \mathbf{x}_c)}{\sum_{\mathbf{x} \in \text{単位円}} \omega(\mathbf{x})} \quad (2.7)$$

と書きなおすことが出来る。

2-2 追跡開始位置の決定

Mean-shift トラッキングでは、予め決められた追跡の開始位置から追跡を開始し、局所探索によって目標を追跡していく。局所探索は1フレーム前に物体が存在した領域の周辺のみを探索する方法であり、新しいフレームが入力されるたびに全領域を探索する探索より計算負荷が小さく、高速な処理が可能という長所がある。しかし、以前物体があった場所から探索を行うという性質上、新しい物体がフレームに現れたときは、Mean-shift 以外の方法を用いてその位置を特定し、Mean-shift トラッキングを開始させる必要がある。本実験では、3フレームを用いたフレーム間差分によって、新しく動画中に現れた追跡対象の位置を特定し、その位置から追跡を行う。また、差分の領域から色情報を抽出し、そこから作成したヒストグラムを追跡対象のヒストグラムとして用いる。既に、Mean-shift トラッキングによる追跡が行われている範囲では、差分が見つかったとしても、新たなトラックは追加しない。また、探索範囲内に差分が無くなった場合は、トラックが追跡対象からずれてしまった、あるいはカラスがフレームアウトしたと判断し、追跡を中止する。

(1) 差分画像

差分画像とは、2枚の画像において同じ位置にある画素の値の差をとった画像である。差分画像は、特徴量抽出やパターン認識の前処理として広く利用されている。本論文では、車や人、鳥などの検出したい物

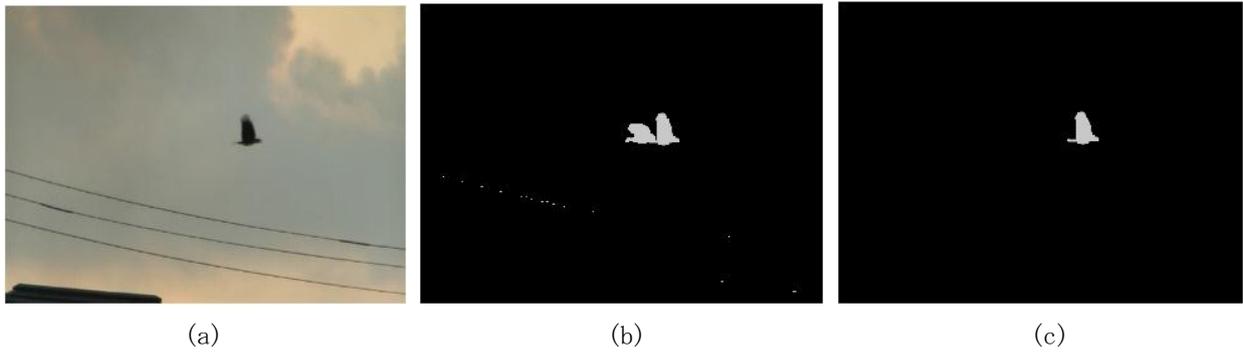


図2 差分画像の例. (a)原画像. (b)2フレーム間の差分画像. (c)3フレーム間の差分画像.

のことを物体あるいは移動体と呼び、画像中で移動体の映っている領域を移動体領域と呼ぶ。また、画像中で移動体の映っている領域以外のことを背景と呼ぶ。差分画像を求める方法には、あらかじめ用意した背景モデルと差分をとる背景差分法、1フレーム前と差分をとるフレーム間差分法がある。背景差分法は背景モデルの作成と更新が煩雑となるため、本実験ではフレーム間差分を用いる[12, 13]。

(2) フレーム間差分法

新しく画像が入ってきたとき、その1つ前のフレームと比較を行い、差分を計算するのがフレーム間差分法である。背景差分法と違い、背景モデルの作成・更新の手間が省ける。1フレームでは大きな変化がない場合、過去 n フレーム分と比較を行い、その中で最も差が大きくなる場合を差分値とする事もある。

フレーム間差分は、式(2.8)により求めることができる。式(2.8)の Δt は差分画像、 I_t は現在の入力画像、 I_{t-1} は1フレーム前の入力画像である。両者の画素値の差を画素ごとに求め、絶対値を計算したものが差分画像となる。

$$\Delta t = |I_t - I_{t-1}| \quad (2.8)$$

ゆっくりと移動する動画に対して、フレーム間差分を行った場合、移動している物体の縁の部分のみが移動体として検出される。これは、1フレーム前でもその位置に物体が写っているためである。また、図2(b)に示すように、移動速度の速い物体に対してフレーム間差分を行った場合は、差分が2ヶ所に表れる。ピクセルの状態が背景から移動物体に変わった時と、物体から背景に変わった時とで、同じ物体が2回フレーム間差分として検出されるためである。

(3) 3フレームを用いたフレーム間差分

追跡対象の移動速度が速い時、同じ物体が2ヶ所でフレーム間差分として検出されるという問題に対処する方法として、3フレームを用いたフレーム間差分がある。現在の時刻を t とおくと、3フレームを用いたフレーム間差分の計算では、まず、時刻 $t-2$ におけるフレームと時刻 $t-1$ におけるフレームとの間での差分と、時刻 $t-1$ におけるフレームと時刻 t におけるフレームとの間での差分を作る。この2つの差分画像のAND演算を行うことで時刻 $t-1$ におけるフレーム間差分を得る。物体の移動速度が速い場合、3フレームを用いたフレーム間差分によって移動物体の領域が過不足無く抽出できる。抜き出した領域を囲むようにトラックを配置し、その位置から追跡を開始する。また、差分によって抜き出した領域から色情報を抽出し、そこから作ったヒストグラムを追跡対象のヒストグラムとして用いる。

カラスの移動速度は速いが、上述の3フレームを用いたフレーム間差分によって、その領域を過不足無く抜き出すことが出来る。カラスのフレーム間差分画像を2値化した例を図2(b), 2(c)に示す。図2(a)の内容の動画に対して、単純なフレーム間差分を適用した例が図2(b)、3フレームを用いたフレーム間差分を適用した例が図2(c)である。図中の白色の画素は1を、黒色の画素は0を表している。図2(b)では、差分が2ヶ所に出てしまっているが、図2(c)では、カラスの写っている領域のみが差分として現れている事がわかる。

(4) ノイズ除去

差分画像には、風による木の揺れや、動画像のチラツキなどのノイズが入ってくる。これらが残ることは、鳥などの飛翔体の検出に望ましくない。そこで、しきい値を設け、差がそれよりも大きい画素を1、小さい画素を0とすることで2値化する。2値化によって1が挿入された領域の内、一定の大きさ以下の領域を

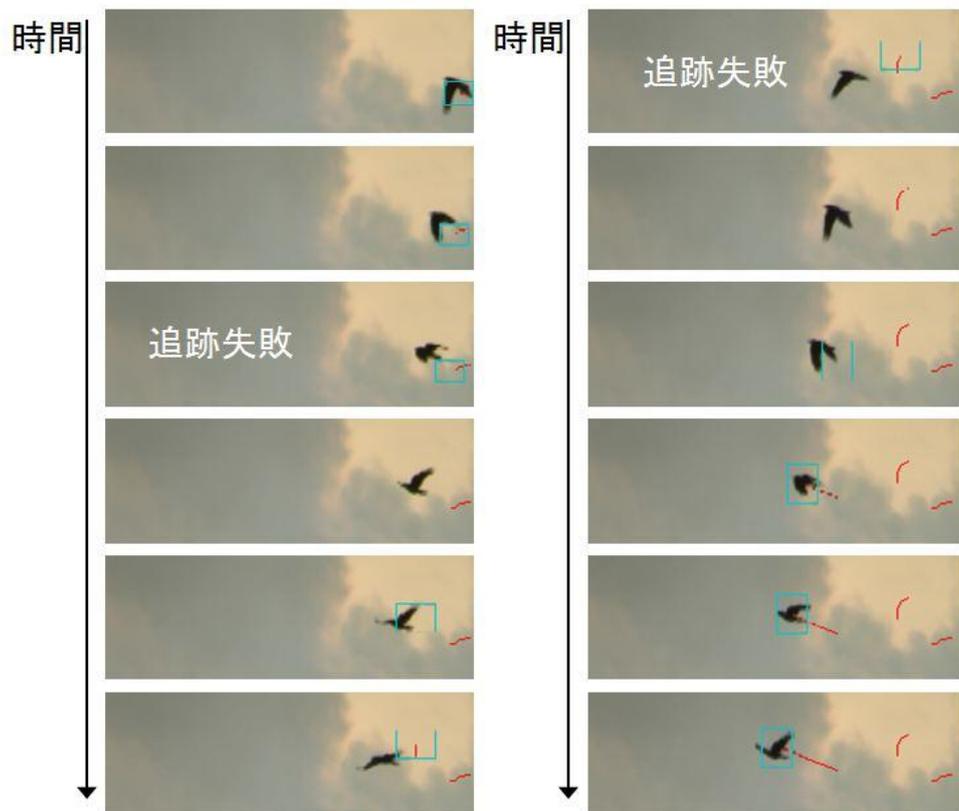


図3 フレームイン直後に発生した追跡の途切れの例.

除去することで、電線や木の揺れによるノイズを除去する。また、カラー・ヒストグラムを作る際は、一定の閾値よりも頻度の低い bin の値を 0 にしている。これは、差分によってカラスの領域のみを抽出しても、わずかに残る背景の領域の影響を、抑制するためである。

3 プリセット・カラー・ヒストグラム

Mean-shift トラッキングとフレーム間差分を組み合わせた手法によって追跡を行った場合、一度安定した追跡に入った後は、そのまま高い精度での追跡を維持できる。しかし、追跡の開始時において追跡開始と失敗が繰り返されるという不安定な状態が発生することがある。これは、差分として抽出する範囲にズレがあり、追跡対象のカラー・ヒストグラム作成に失敗することによって起こる。カラスの移動速度は速く、数回の追跡失敗と再捕捉が繰り返される間に画面の半分を進んでしまうこともある。適応的防除においてはカラスが合鴨を襲うより早く威嚇装置を作動させる必要がある。そのためにはカラスをフレームイン直後から正確に追跡できなければならない。カラスは個体ごとの色の差異が無く、全体が黒色をしているため照明条件による明度の変化もあまりない。そのため、以前その動画中を飛んだカラスの色情報から、次にフレームインしてくるカラスの色を予測することができる。本実験では、過去にその動画中を飛んだカラスのカラー・ヒストグラムの分散と最頻値を記録しておき、次のカラスがフレームインする前から、正規分布によって人工的なカラスのヒストグラムを作っておくという方法を採用した。この人工的なヒストグラムを、以後、プリセット・カラー・ヒストグラムと呼ぶ。

3-1 フレームイン直後に発生する追跡の途切れ

フレームイン直後に発生した追跡の途切れを図3に示す。この図は、画面の左端から侵入してきたカラスを撮影した、動画の一部である。トラックの中心座標の軌跡を赤い線で示す。左上の画像が最も古いフレームであり、右下の画像が最も新しいフレームである。左上のフレームでカラスのトラックが設置されているが、2フレーム後にはトラックがカラスからずれてしまっている。フレームイン直後の追跡失敗の原因は、追跡

対象のヒストグラム作成の失敗によるものである。追跡対象内に大きな差分が見つからない場合は、そのトラックを停止するよう設定しているため、追跡に失敗した直後にトラックがリセットされている。追跡に失敗してトラックが外れたとしても、その後新しいトラックが配置され、いずれ安定した追跡に成功する。図3でも、左列の上から3つめの画像でトラックが設置された後は安定した追跡が行われている。

3-2 正規分布によるヒストグラムの近似

カラスは個体ごとの色の差異が無く、全体が黒色をしているため照明条件による明度の変化もあまりない。したがって、以前その動画中を飛んだカラスの色情報から、次にフレームインしてくるカラスの色を予測することができる。

本実験では、過去にその動画中を飛んだカラスのカラー・ヒストグラムの分散と最頻値を記録しておき、正規分布によって人工的なカラスのヒストグラムを作るという方法を採用した。プリセット・カラー・ヒストグラムを用いることにより、以前得られたカラスの色情報を利用できるため、一度カラスを安定的に追跡出来るようになった後は、新しくフレームインしてきたカラスをフレームイン直後から安定して追跡できる。プリセット・カラー・ヒストグラム作成の手順は以下のとおりである。

1. フレーム間差分によって、時刻 t におけるカラスの領域を抽出する。
2. カラス領域からカラー・ヒストグラムを作る。
3. カラー・ヒストグラムの最頻値 μ_t と分散 ρ_t を計算し、保存する。
4. 保存されている最頻値 μ_t の時間平均 $\mu_a = \frac{\sum_{t=1}^m \mu_t}{m}$ を求める。 m はフレーム数を表している。
5. 同様に、分散の時間平均 $\rho_a = \frac{\sum_{t=1}^m \rho_t}{m}$ から求める。
6. 正規分布 $f(\mu_a, \rho_a)$ を求め、これをプリセット・カラー・ヒストグラムとする。
7. 元のカラスのヒストグラムと形を合わせるため、正規分布を bin ごとにまとめ頻度の低い bin の値を 0 にする。

カラスは単色であるため、ヒストグラムは単峰性となる。そのため、1つの正規分布によって、形を近似することが可能である。

4 実験結果と考察

これまでに述べたプリセット・カラー・ヒストグラムを使用した場合、Mean-shiftトラックの精度がどの様に変化するかを検証した。プリセット・カラー・ヒストグラムを使っても、基本的な性能が落ちない事を確認する実験を2つ、安定した追跡に成功するまでの時間が短縮されていることを確認する実験を1つ行った。基本的な性能の評価には真陽性率(TPR)と偽陽性率(FPR)による評価、正解座標とトラックの座標の差による評価を用いた。安定した追跡に成功するまでの時間による評価は、カラスがフレームインしてから3フレーム以上連続してカラスをトラック内部に捉えることに成功するまでの時間によって行った。

4-1 学習に用いたデータ

学習データには、山口市内で撮影してきたカラスの動画から、カメラのブレが少ない部分を選んで用いた。基本的な性能の評価に用いたデータは、山口市内で撮影した753フレーム分の動画である。安定した追跡に成功するまでの時間による評価では、明るい環境で撮影されたカラスの動画と、暗い環境で撮影されたカラスの動画の2つを評価に用いた。

4-2 基本的な性能の評価

プリセット・カラー・ヒストグラムを導入したことによって、Mean-shiftトラックの基本的な性能にどのような影響があるかを検証した。検証には真陽性率(TPR)と偽陽性率(FPR)による評価、正解座標とトラックの中心座標との差による評価の2つを用いた。

表2 プリセット・カラー・ヒストグラムの有無による追跡精度の比較

	プリセット・カラー・ヒストグラム なしの場合	プリセット・カラー・ヒストグラム 有りの場合
TPR	81%	88%
FPR	1.4%	2.7%

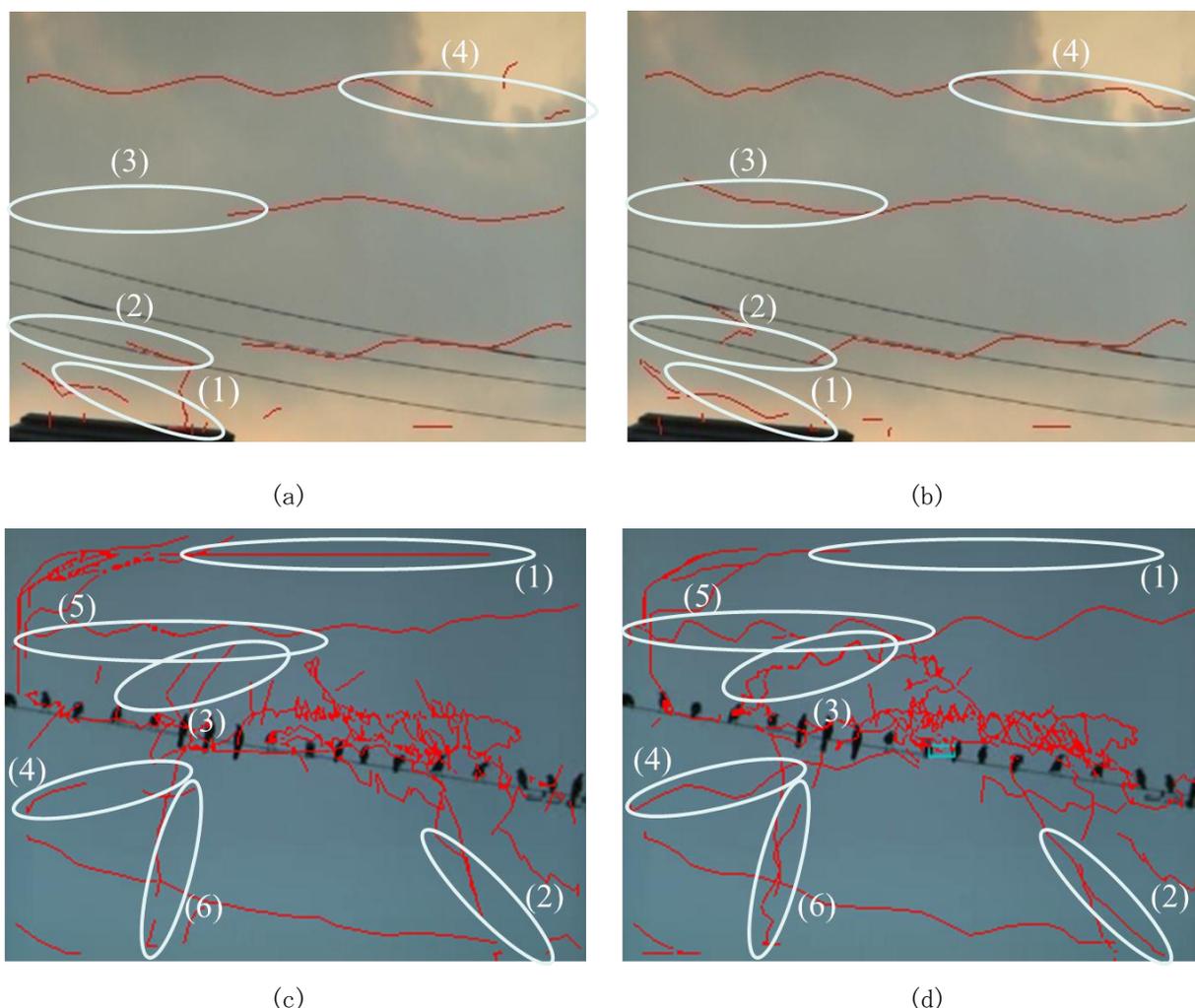
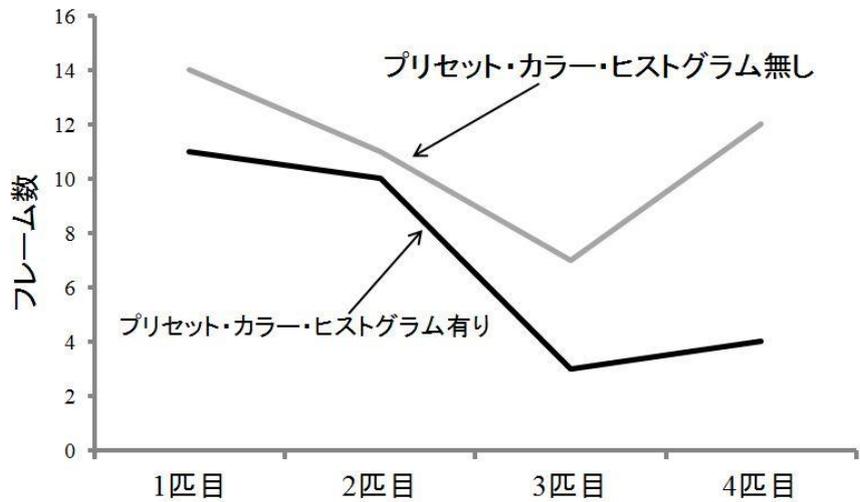


図4 プリセット・カラー・ヒストグラムの有無によるトラッキング性能の違い.

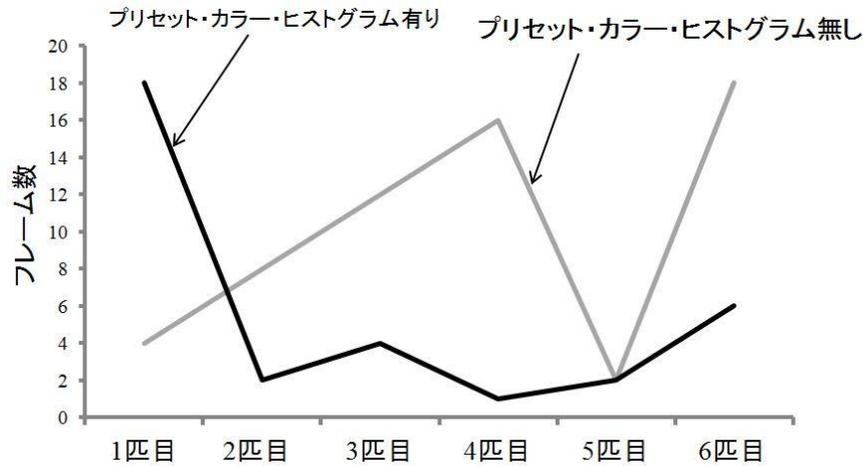
4-3 TPR と FPR による評価

TPR と FPR による評価では、人の判断によりフレームごとにカラスの正解座標を予め与えた。Mean-shift トラッキングによる追跡を行った後、正解座標を内に含むトラックが存在した場合を TP、正解座標は存在するがトラックは存在しない場合を FN、正解座標を内に含まないトラックがある場合を FP、正解座標とトラックが共に存在しない場合を TN とし、 $TPR=TP/(TP+FN)$ と $FPR=FP/(FP+TN)$ を計算した。

プリセット・カラー・ヒストグラムを使う場合と使わない場合とで、真陽性率と偽陽性率を比較した結果を表2に示す。プリセット・カラー・ヒストグラムを用いなくとも、Mean-shift 法による追跡は高い真陽性率を示していることが分かる。一方で、プリセット・カラー・ヒストグラムを使った場合でも、ほぼ同じ値を維持している。偽陽性率が 1.3 ポイント上昇してしまっているが、真陽性率も 7 ポイント上昇しており、全体としては性能がやや向上しているといえる。



(a)



(b)

図5 安定した追跡の確立までにかかったフレーム数. (a)動画1. (b)動画2.

4-4 正解座標とトラックの座標の差による評価

真陽性の場合のみを対象として、正解座標とトラックの座標の差による評価も行った。正解座標と、トラックの中心の座標との間の距離をフレームごとに計算し、その平均値によって評価を行った。プリセット・カラー・ヒストグラムを使わなかった場合の距離の平均は9.3ピクセルであった。一方、プリセット・カラー・ヒストグラムを使った場合は平均で8.1ピクセルの距離であった。プリセット・カラー・ヒストグラムを使うことによって、僅かではあるが追跡の精度が上昇していることが分かる。

4-5 安定した追跡に成功するまでの時間による評価

カラスがフレームインしてからトラックが安定した追跡に成功するまでのフレーム数に基づいて、評価を行った。安定した追跡とは3フレーム以上にわたってTPの状態が続くことと定義した。ただし、カラスの軌跡が他のカラスと交差した場合は、その時点からフレーム数を数え直すものとした。評価には、明るい環境で撮影された動画と、暗い環境で撮影された動画の2つを使用した。まず、明るい環境で撮影された動画(動画1)に対して、実験を行った。追跡の軌跡を動画フレーム内にプロットしたものを図4(a)と図4(b)に示す。図4(a)はプリセット・カラー・ヒストグラムを使わない場合、図4(b)は使った場合である。楕円は追跡の軌跡に違いがある部分を示している。楕円の横に付いている数字は、カラスがフレームインしてきた順番である。各軌跡の飛行方向は以下のようにになっている。

(1) は画面下から斜め左上, (2) と(3) は左から右, (4) は右から左. 各カラスの, フレームインしてから追跡に成功するまでのフレーム数を図 5(a) に示す. 図 4(a), 図 4(b) 中の番号と, グラフの横軸の数字は対応している.

図 4(a) を見ると, プリセット・カラー・ヒストグラムを使わない場合は, (3) や(4) などフレームイン直後に追跡に失敗している. 一方, 図 4(b) では(3) や(4) のケースでもフレームイン直後から追跡に成功している. (1) や(2) の追跡は何度か失敗しているが, これはカラスの色情報を十分に蓄積する前だったため, 正確なプリセット・カラー・ヒストグラムを作れなかった事が原因と考えられる. 図 5(a) を見ると, プリセット・カラー・ヒストグラムを使った場合は, 時間と共に追跡成功までに必要なフレーム数が減少していることが分かる.

次に, 暗い環境で撮影された動画(動画 2) を使い同じ実験を行った結果を, 図 4(c), 4(d) に示す. この動画でも, プリセット・カラー・ヒストグラムを使ったほうが, より正確な追跡を実現できている. ただし, カラスが互いに入り乱れて飛んでいるため, あるカラスを追跡中のトラックが他のカラスに奪われてしまう場合があった. カラスがフレームインしてから安定した追跡に成功するまでのフレーム数を図 5(b) に示す. 動画 2 に関しては, 飛んでいるカラスの数が多いため, 代表的な動きをしている 6 匹のカラスのみを評価の対象とした. 一匹目のカラスに関しては, プリセット・カラー・ヒストグラムを使った場合, 安定した追跡に成功するまで時間がかかってしまっている. しかし, 2 匹目以降はプリセット・カラー・ヒストグラムを使わない場合の五分の 1 から十分の 1 の時間で, 安定した追跡を確立している事がわかる.

以上の実験結果より, プリセット・カラー・ヒストグラムを導入した Mean-shift 法のカラスのトラッキングにおける有効性が示された.

5 まとめ

本報告では, Mean-shift トラッキングを用いたカラスの追跡において, プリセット・カラー・ヒストグラムがどの程度有用であるかの検証結果について述べた. Mean-shift トラッキングは, 単体でも高い追跡精度を持っているが, 新しく画面に侵入してきたカラスを追跡し始める際に, 差分など他の手法によって追跡開始位置と追跡対象のヒストグラムを定義する必要がある. 従来手法では, 追跡開始点設定の際に追跡対象のヒストグラム作成に失敗し, 追跡が不安定になるという問題があった. 本研究では, プリセット・カラー・ヒストグラムを使うことによって, 追跡開始直後の不安定性を抑制した. 実験では(1) 真陽性率(TPR) と偽陽性率(FPR), (2) 正解座標とトラックの座標の差, (3) 安定した追跡に成功するまでの時間, という 3 つの観点から評価実験と考察を行った. (1) と(2) は基本的な追跡精度に関する実験, (3) はプリセット・カラー・ヒストグラムを導入した本来の目的である, 追跡開始直後の不安定性の抑制に関する実験である基本的な追跡精度に関する実験によって, プリセット・カラー・ヒストグラムを導入した後の追跡精度は元と同じく高い追跡精度を維持できている事が分かった. 正解座標とトラックの座標の差による実験や真陽性率など, プリセット・カラー・ヒストグラムを導入することによって値が改善した評価基準もあった. 安定した追跡に成功するまでの時間による評価では, プリセット・カラー・ヒストグラムは当初の期待通り, 安定した追跡に成功するまでの時間を短縮できることが分かった. 合鴨をカラスから守るという今回の目的を達成するためには, 動き始めた物体を素早く捕捉する必要があるが, プリセット・カラー・ヒストグラムを使った手法は申請者らの当初の目的を達成するのに十分な性能を有しているといえる.

Mean-shift トラッキングを用いたカラスの追跡にプリセット・カラー・ヒストグラムを適用した際の問題点として, カラスの軌道が交差した際, あるカラスを追跡していたトラックがもう一方のカラスに移動してしまうという点がある. 今後は, カラスの軌跡から次のフレームでのカラスの位置を予測し, カラス同士の軌道が交差する場合でも, トラックが他のカラスに移らないよう工夫をしたい.

【参考文献】

- [1] 古野隆雄, アイガモ乾田直播の雑草対策、ほぼ完成, 現代農業, Vol. 89, pp. 126-129, 2010.
- [2] 瀧口さやか, 佐藤喜和, 鳥獣害から果樹園を護る(41) 都市農業地域における電気柵を用いたブドウ園へのハクビシン侵入防御策, 果実日本, Vol. 64, pp. 98-101, 2009.
- [3] 柳沢健一, サルほか捕獲檻、電気牧柵等で対策(鳥獣害特集(3) サル、シカ、クマ、カラス…捕獲・駆除等の格闘編), 全国農業共済協会, Vol. 53, pp. 34-36, 2001.
- [4] 高山耕二, 中村真紀子, 内山雄紀, 福永大悟, 赤井克己, 中西良孝, 合鴨農法

- におけるカラス害防除に関する研究(予報), 日本家畜管理学会誌・応用動物行動学会誌, Vol. 44, No. 1, pp. 46-47, 2008.
- [5] 吉田保志子, カラスの生態と被害対策について, 農業技術協会, Vol. 61, pp. 445-449, 2006.
- [6] 伊藤栄一, カラスの社会, 動物心理学研究, Vol. 61, No. 1, pp. 55-68, 2008.
- [7] 小林義明, 江崎修央, 滝沢穂高, 水野慎士, 山本眞司, 画像処理による農場でのカラス抽出に関する研究電子情報通信学会総合大会講演論文集, Vol. J91-D, No. 2, p. 243, 2008.
- [8] D. Comaniciu, V. Ramesh, and P. Meer, Real-time tracking of non-rapid objects using mean shift, IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 2, pp. 142-149, 2000.
- [9] 川中大樹, 中島 平, 岡谷貴之, 出口光一郎, 平均値シフト法を用いた複数物体追跡の研究, 情報処理学会研修報告, Vol. 2003, No. 41, pp. 9-14, 2003.
- [10] 南竹俊介, 高橋伸, 田中二郎, 歩行者の注視情報と移動軌跡を利用したデジタル広告への視聴率測定, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 72, No. 3, pp. 323-324, 2010.
- [11] 伊東祐, 山下淳, 金子透, Haar-like 特徴を用いた顔検出と Mean-Shift トラッカによる人物追跡, 動的画像処理実用化ワークショップ 2008 講演論文集, Vol. 2008, pp. 173-178, 2008.
- [12] 島田敬士, 有田大作, 谷口倫一郎, 適応的な分布数の増減法を利用した混合ガウス分布による高速な動的背景モデルの構築, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J90-D, pp. 2606-2624, 2007.
- [13] 中井宏章, 事後確率を用いた移動物体検出手法, 情報処理学会研究報告, Vol. 94, No. 81, pp. 1-8, 1994.

〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
カラスの捕食動作開始検出における CHLAC 特徴量の有用性について	第 19 回計測自動制御学会中国支部 学術講演会予稿集	2010 年 11 月
CHLAC 特徴量を用いたカラスの動き検出における擬似学習データの有用性に関する検討	第 24 回バイオメディカルファジィシステム学会年次大会講演論文集	2011 年 10 月
Mean-Shift 法を用いたカラスの追跡におけるプリセット・カラー・ヒストグラムの有用性に関する検討	第 15 回日本知能情報ファジィ学会 中国・四国支部大会講演予稿集	2011 年 12 月
Efficiency Analysis of Preset Color Histogram in Mean-shift-based Crow Tracking	Lecture Notes in Engineering and Computer Science: Proceedings of International MultiConference of Engineers and Computer Scientists	2012 年 3 月