

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00240

研究課題名(和文) 農業ICT化に向けた畜舎内での小動物行動追跡システムの構築

研究課題名(英文) Development of animal tracking system in real situation

研究代表者

椋木 雅之 (MUKUNOKI, Masayuki)

宮崎大学・工学部・教授

研究者番号：20283640

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：農業のICT化にむけて畜産現場を念頭に、ネズミや鳥類などの小動物の畜舎への侵入、畜舎内での移動、家畜との接触をカメラ映像を用いて検出・記録できる小動物行動追跡システムの構築を目指して、要素技術の開発と評価実験を行った。実環境における種々の事前知識を利用しやすいエネルギー関数最小化の枠組みに、スパース最適化を導入した枠組みを提案した。また、実際に提案手法を小動物の追跡問題に適用し、一定の性能向上が見られることを確認した。さらに、開発した手法を現場で利用できるよう、スマートフォン上への実装を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

エネルギー最小化の枠組みにスパース最適化を導入し、種々の制約条件を一つの枠組み内で表現した上で、その中の有効な条件を選択的に最適化して解を求める Sparse Collaborative Mean Attraction法(SCMA法)を提案した。SCMA法は、特に学習データが少数の場合に汎用的に有効な識別器であることを実験により示した。また、SCMA法を実際に動物追跡に適用し、従来手法よりも正しく追跡が行えることを実験により示した。さらに、開発したシステムは、スマートフォン上への実装を進めており、実装が完了すれば研究成果を広く利用できる形で公開できる。

研究成果の概要(英文)：In this research, I develop and evaluate a new discrimination method, called as Sparse Collaborative Mean Attraction Method (SCMA). The SCMA method shows good performance for discrimination especially when the number of training data per category is very small. I also apply the SCMA method for tracking animals in a cage. It shows better performance than previous methods, such as particle filter or AKAZE feature tracking. I am now implementing the developed method on smart phone, which can encourage people to use the developed method in real situation.

研究分野：画像認識

キーワード：小動物追跡 エネルギー最小化原理 スパース最適化 SCMA法 複雑背景 深層学習

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、農業分野における生産性向上、人手不足対策、国際競争力の獲得・維持のために、様々な工学技術の導入が計られている。中でも、ICT 分野の技術は、農業活動全体を観測・記録し、生産を効率化・最適化するための技術として『H26 年度総務省情報通信白書』でも取り上げられる等、期待を集めている。

このような背景の下、農林水産分野では、養殖している稚魚の見守りにも利用できる魚影の検出・追跡技術[1]や農作物の生育見守り技術[2]等が研究されている。これらは、水産・畜産の対象となる家畜を見守る技術である。一方で、農業活動全体を見守るためには、作物や家畜だけでなくそれを取り巻く生態系との関係を観測することが重要である。例えば、農業分野では、野生生物による被害は年間 200 億円にもものぼる。また、畜産分野では野生生物から伝染する口蹄疫や鳥インフルエンザが大きな脅威となっている。野生動物と畜産物との関係も重要と考えられているが、目視による観測であったため観測コストが高く、十分に解明できていなかった。畜舎周辺にカメラ映像を用いた観測技術を導入できれば、比較的低コストで継続的なデータ収集が行なえ、畜産分野での生産性向上に寄与できると考えられる。

2. 研究の目的

農業の ICT 化にむけて畜産現場を念頭に、ネズミや鳥類などの小動物の畜舎への侵入、畜舎内での移動、家畜との接触をカメラ映像を用いて検出・記録できる小動物行動追跡システムを構築する。実環境でロボストに機能するためには、事前知識や映像から得られる情報を有効に利用する必要がある。本研究ではまず、これらの情報をエネルギー関数で表した上で、追跡の対応関係を絞り込めるエネルギー最小化問題として解く物体追跡処理を開発する。次に畜舎で機能する事前知識等を調査し、その効果を評価する。さらに、このシステムをスケールアウトしてより広範囲の追跡を可能とするために、システム間の連携手法を開発する。

3. 研究の方法

本研究では、以下の 3 つの課題を扱う。

- ・実環境でロボストに物体追跡を行える基盤技術の開発
- ・開発した手法の畜舎環境等へのチューニングと評価
- ・開発したシステムのシステム間連携によるスケールアウト

(1) 実環境でロボストに物体追跡を行える基盤技術の開発

畜舎のような条件の悪い実環境でロボストな追跡を実現するには、様々な観測から得られる情報や事前知識（以下、観測情報等）を利用する必要がある。観測情報等としては、物体像のもつ特徴の類似性や物体像の時間的空間的近接性が利用されることが多い。これらを統合的に利用して、観測した複数の物体像全体の対応付を最適化する解法として、本研究では観測情報等をエネルギー関数として表現し、数値計算によるエネルギー最小化により解く方法を採用する。この場合、観測情報等はそれを反映する補助変数を導入し、観測情報等に適合する際に最小値をとる項をエネルギー関数に追加することで定式化が行える。これにより、種々の観測情報の追加が容易になる。

複数の観測情報等を導入すると、個々の観測情報等では決定的ではなくても、それらが強め合って対応付けが行えることが期待できる。しかし、逆に複数の観測情報等が互いに相容れない対応関係を示し、全体としてどの物体像同士が対応づけるのか一意に定まらなくなる可能性も生じる。この問題に対しては、エネルギー関数にスパース性を導入し、なるべく少数の対応付けのみが採用されるようにする。スパース性は、近年のデータ解析で注目されているアプローチで、与えられた全データをなるべく少数の要素で解釈しようとするものである。エネルギー関数の最小化問題では、これは、補助変数の L1 ノルム最小化として定式化されることが多い。本研究でも、エネルギー関数に L1 ノルムを導入することで、一意の対応付けが行える全体最適解を求めることを目指す。

(2) 開発した手法の畜舎環境等へのチューニングと評価

開発した手法を組み込んだシステムを構築し、手法の評価とデータ収集を行う。開発した物体追跡手法は種々の観測情報等を追加することが容易であるが、畜舎環境でどのような観測情報等が有用であるかは、試行錯誤が必要である。

(3) 開発したシステムのシステム間連携によるスケールアウト

畜舎内の小動物追跡では、小動物がどこから侵入し、どこを移動し、どこから出たかが重要である。これをカメラ 1 台の視野で追跡することは難しい。また、農業環境全体の見守りを実現するためには、より広範囲での追跡システムが必要となる。一方で、農業分野にこのような技術を展開していく上では、システムの構築・設置・調整が容易である必要がある。

これに対処するために、単一カメラのシステムを連携させることで広範囲の物体追跡を可能にする基本的な仕組みを開発する。また、単一カメラシステム自体の設置についても、容易に行えるよう技術開発する。

4. 研究成果

(1) 実環境でロボストに物体追跡を行える基盤技術の開発

畜舎のような条件の悪い実環境でロボストな追跡を実現するために、様々な観測から得られる情報や事前知識（以下、観測情報等）を利用する。そのために、観測情報等をエネルギー関数として表現し、数値計算によるエネルギー最小化により解く基本技術を開発した。

複数の観測情報等を導入すると、複数の観測情報等が互いに相容れない対応関係を示し、全体としてどの物体像同士が対応づけるのか一意に定まらなくなる可能性も生じる。この問題に対しては、エネルギー関数にスパース性を導入する基本技術を開発した。具体的には、エネルギー最小化に基づく手法である Collaborative Mean Attraction 法(CMA 法)における正則化項として L1 ノルムを用いた定式化を採用し、エネルギー最小化により解く手法 (Sparse CMA 法; SCMA 法)を開発した。

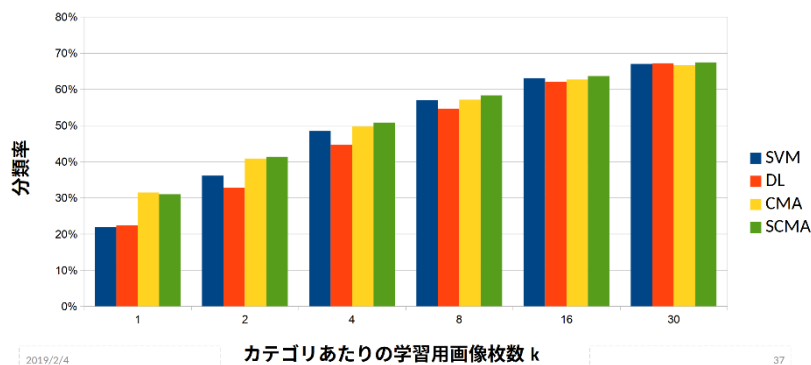


図1 SCMA法の性能評価

図1に、SCMA法と従来手法との比較実験の結果を示す。この実験では、Caltech256データセットに対する一般画像分類の問題に、SCMA法と元となったCMA法、従来手法であるサポートベクターマシンによる分類(SVM)、深層学習による分類(DL)を適用した。小動物の追跡のように、事前に対象個体のデータが得られず、少数のデータに基づいて追跡する場面を想定して、各カテゴリで利用できる学習用画像数が少数の場合を想定している。縦軸が分類の正解率、横軸がカテゴリあたりの学習用画像数(k)である。学習用画像が少数の場合(k=1, 2)、SCMA法やCMA法は、従来手法であるSVM, DLを上回る性能を示している。学習用画像が増えた場合(k=16, 30)では、その差は縮まるがSCMA法はこの場合でも他の手法より高い分類率を示している。

さらに、開発したSCMA法を小動物の同時追跡に導入した。従来行っていた、AKAZE特徴量とパーティクルフィルタを利用した追跡手法では、小動物同士の重なりでオクルージョンが発生した直後に追跡対象を誤ると、誤った対象を追跡し続けるという問題点があった。これに対して、画像分類技術を用いることで常に複数の対象を識別し続け、識別対象の混同を検出し、修正することで、より正確な追跡が行えるようになった。

図2に追跡結果の例を示す。30フレーム目では小動物同士が重なっており1つに検出されているが、50フレーム目では分かれており、別々の個体として検出できている。その後、90フレーム目で再び1つに重なったが、130フレーム目で分離した際には、50フレーム目で識別したそれぞれの個体として追跡が行えている。

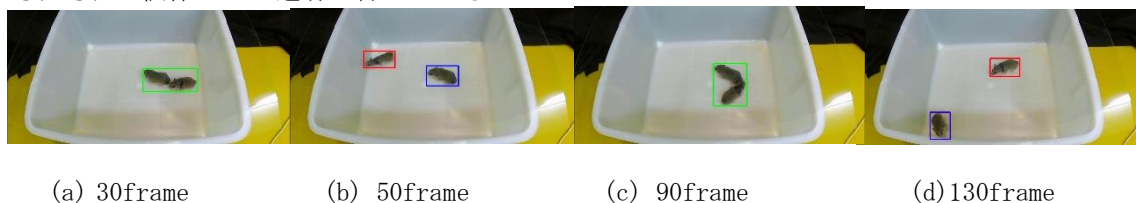


図2 SCMA法による小動物の追跡例

(2) 開発した手法の畜舎環境等へのチューニングと評価

開発した手法を、現実の畜舎環境により近い状況に適用し、手法の評価と改善を行った。背景として小動物とよく似た枯れ葉を敷き詰めた環境を用意した。また、実環境では小動物が物陰に隠れることも想定し、小動物が隠れることができる障害物も環境中に設置した。この環境で撮影した映像に開発手法を適用した所、「物体検出」「物体識別」「未知個体識別」の各段階で手法の問題点が明らかになった。これらの問題について、対処を行った。「物体検出」では、小動物と背景が類似することで、背景部分の誤検出が多く見られた。これに対して、背景部分を学習した識別器を導入し、検出結果をふるいにかけることで、性能改善を図った。「物体識別」では、物体追跡問題に物体識別を利用するという特性上、識別に利用できる各個体の情報(教示画像)が少なく、識別性能が低いという問題が見られた。この問題に対して、個体の教示画

像に対して回転処理を施した画像も各個体の情報として加えるデータ拡張を行うことで、改良を行った。「未知個体識別」では、実環境で小動物がカメラ視野内に出入りすることを想定して、教示画像が与えられていない未知個体の識別を、既知個体との類似度に関値を設定することで実現した。この際、単一の評価指標では十分な性能が得られなかったため、複数の指標を利用する方法を開発した。

図 3 に、この研究で使用したより実環境に近い設定環境と小動物の検出結果の例を示す。この環境では 4 匹の小動物が含まれているが、この例では 1 匹は検出できていない。これらの小動物を識別・追跡した評価結果を図 4 に示す。提案手法はデータ拡張を適用した結果、従来手法はデータ拡張なしの結果で、縦軸が識別の正解率を表している。元々正解率の低かった個体 A, B については、提案手法で識別率が向上しているが、正解率の高かった個体では、やや低下している。全体では、約 2 ポイント正解率が向上している。

また、SCMA 法に対して、観測情報を制約項として追加することでよりロバストな追跡を実現した。SCMA 法の制約項として、従来の画像特徴に加え、「フレーム間での移動距離が小さい対応づけの方がよい」という制約を追加した。従来は同様の制約をエネルギー最適化とは別の枠組みで適用していたが、本手法では、同じ 1 つのエネルギー最適化の枠組み内で制約を付与し、従来と同程度の追跡結果が得られた。

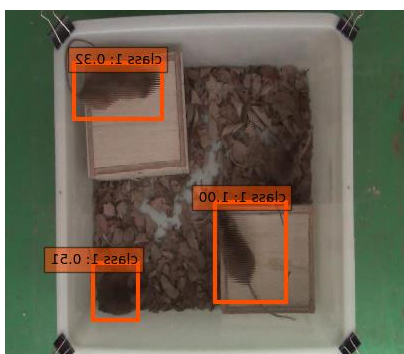


図 3 実際に近い環境での小動物検出

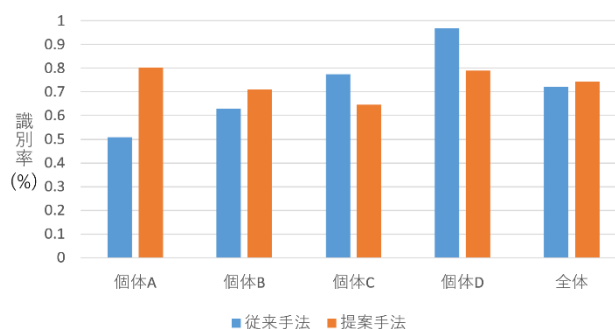


図 4 総動物の識別評価結果

(3) 開発したシステムのシステム間連携によるスケールアウト

当初、複数の独立した小動物追跡システムの連携を目指していたが、まずは、独立した小動物追跡システムを実用的なプラットフォームに実装することを優先した。具体的には、ビデオカメラが付いており、計算能力も高く入手も容易なスマートフォン上に、動物検出のシステムを実装した。動物検出には、YOLOv3 を使った検出手法を導入した。この手法は、深層学習を利用したものであるが、軽量な実装が提供されており、スマートフォン上でも実行できるものである。検出精度は、良好な照明環境下では十分な精度であったが、暗い照明環境下や手前に障害物があるような環境下では検出漏れが生じた。また、検出速度についても、毎秒 1-2 フレーム程度となり、より高速化する必要があることが分かった。図\ref{fig:kodama_fig}に、スマートフォン上実装したシステムでの検出例を示す。この例では、牛を対象としている。また、対象の向きが分かるよう、動物全体だけでなく、頭部も別途検出している。検出結果を直感的に把握しやすいよう、動物の 3 次元モデルを重畳して表示する機能も実現している。

動物識別では、個体識別に顔情報を利用することを想定し、人の顔を多数学習したモデル (FaceNet, VGGFace) と一般画像を多数学習したモデル (VGG16, VGG19, ResNet50) を用意した。これらのモデルを本課題に転移学習により適用し、性能を評価した。事前には、人の顔を学習したモデルの方が性能が高いと予想していたが、実験の結果、一般画像を学習したモデルの方が 20 ポイント程度大幅に性能がよく、90%以上の識別率が達成可能であることが分かった。この差がどこから生じているのか確認するために、学習済みモデルの入力画像に対する内部の反応状態 (ヒートマップ) を可視化した所、一般画像を学習したモデルでは、鼻や眼といった動物の顔の造作に強く反応していた (図 6) のに対して、人の顔を学習したモデルでは、明確に反応している部位が見られなかった。一方、人の顔を学習したモデルに人の顔の画像を与えた場合、人の顔の造作に反応していた。これらのことから、動物と人との顔の造作の違いや位置の違いが影響していることが示唆された。このことから、動物の顔を多数学習したモデルを構築できれば、識別精度を更に向上させられる可能性を示した。

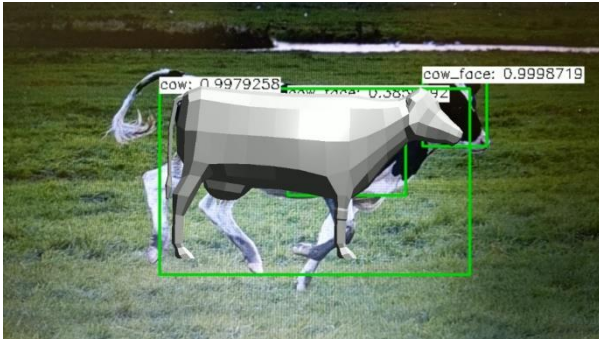


図5 スマートフォン上の実装による動物検出

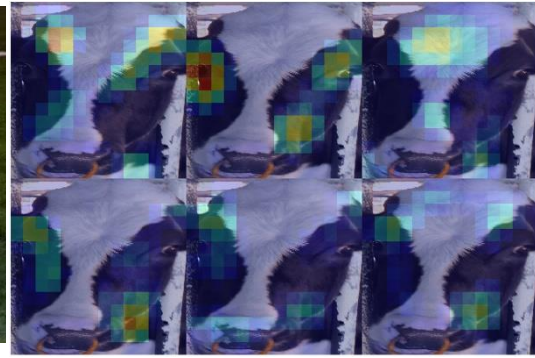


図6 動物識別のヒートマップ

<参考文献>

- [1] R. Verschae 他 : "A Real-Time 3D Fish Detection and Tracking System", MIRU2016.
- [2] 戸田他 : "農林水環境産業の画像技術", 映像情報メディア学会誌 vol.65, no.11 , pp.1513-1523, 2011-11.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Hiroki Ogihara, Masayuki Mukunoki
2. 発表標題 Image Classification using Collaborative Mean Attraction with Sparse Optimization
3. 学会等名 International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本 亜沙美, 椋木 雅之
2. 発表標題 映像からの簡便な人物行動検出と閾値の自動決定法
3. 学会等名 第17回 情報科学技術フォーラム FIT2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高塚 佳代子, 関口 敏, 椋木 雅之, 岡崎 直宣
2. 発表標題 口蹄疫感染リスクと防疫予算とのトレードオフを定量的に扱うための手法
3. 学会等名 化学工学会第50秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荻原弘樹, 椋木雅之
2. 発表標題 スパース最適化を用いたCollaborative Mean Attraction法による画像分類の特性調査
3. 学会等名 第70回電気・情報関係学会九州支部連合大会, 13-2A-11
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡崎浩佑, 阿山駿希, 棕木雅之
2. 発表標題 尤度計算にAKAZE特徴量を利用したパーティクルフィルタによる小動物追跡
3. 学会等名 第70回電気・情報関係学会九州支部連合大会, 13-2A-13
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 富永 圭佑, 棕木 雅之
2. 発表標題 位置情報を組み合わせた特徴量による小動物追跡の評価
3. 学会等名 2019年度 電子情報通信学会九州支部 学生会講演会, D-24
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 棕木 雅之
2. 発表標題 深層学習を用いた画像認識の取り組み
3. 学会等名 第32回「情報伝送と信号処理ワークショップ(CSWS)」(招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

宮崎大学 棕木研究室ホームページ
<http://cvlab.cs.miyazaki-u.ac.jp>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	坂本 信介 (SAKAMOTO Shinsuke) (80611368)	宮崎大学・農学部・准教授 (17601)	