

審査の結果の要旨

氏名 吉橋 亮太

本論文は「Robust Object Detection with Deep Learning by Utilization of Motion Information and Generalization to Unknown Environment: Application to Wide-Area Surveillance of Birds (頑健な物体検出のための深層学習における動きの利用と未知環境への汎化-野鳥の広域監視への応用-)」と題し、野鳥の広域監視のような屋外画像からの物体検出を必要とする課題において、深層学習に基づく検出器の頑健化手法について論じたものであり、全体で7章からなり、英文で記述されている。具体的には、風力発電所における野鳥の広域監視画像によるデータセットの構築、低解像度物体の検出において有効となる動画中の物体の動き情報を利用する手法の提案、学習データに含まれない物体や背景が出現しうる未知環境での汎化性を高めるための手法の提案を、それぞれ行っている。

第1章は「Introduction (序論)」であり、研究背景として深層学習の導入により画像認識の精度が飛躍的に向上した一方で、より多彩な場面に応用されていく上で認識システムの頑健性が問題になることを述べている。特に本論文は新応用として風力発電所における野鳥の衝突対策のための広域監視を挙げており、従来から盛んに研究されている一般物体認識などと対比した際に、ドメインの特殊性、検出対象の低解像度、オープンセット性の3点に関して検出器の頑健性を高めることが重要であるとしている。

第2章は「Related work (関連研究)」であり、まず従来の一般的な画像認識の研究を俯瞰している。そのうえで頑健性向上のための既存のアプローチを画像のモデル化方式におけるアプローチ・統計的学習に基づくアプローチの2つに分けて論じ、それらに関して本論文の位置付けを明らかにしている。

第3章は「Wide-area bird surveillance: Data construction and analysis (野鳥の広域監視: データ構築と分析)」と題し、野鳥の広域監視というドメインにおける画像収集・アノテーション付与によるデータセットの構築と、基礎的な画像認識手法の比較評価に関して論じている。データセットの構築においては定点カメラにより30,000枚ほどの画像の収集とエキスパートによる種別の判定を行っており、成果物であるデータセットはWebにおいて一般公開されている。手法評価の面では、画像認識分野で従来主流であった特徴量と深層畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を比較評価しており、野鳥検出及び分類においてもCNNが有効であるという結論を得た。

第4章は「Detection by motion-feature learning (動き特徴学習に基づく検出)」と

題し、CNNにおける検出のための動き特徴の学習手法を論じている。提案手法は先んじて行動認識で用いられていた **two stream** ネットワークに基づくものであるが、検出分野で有効である低次動画特徴量 **stabilized temporal difference (SDt)** を同時に利用し、ネットワークをスライディングウィンドウ検出と融合するなどの工夫により物体検出にも適用可能とした点に新規性がある。評価においては3章で構築された野鳥データセットに加え、検出分野で多く用いられる車載カメラでの歩行者検出のベンチマークを用い、静止画情報のみを用いるCNN検出器と比べて相対値にして10%程度の性能改善が可能となることを示した。

第5章は「**Joint detection and tracking by higher-level motion-feature learning** (高次動き特徴学習に基づく同時的な検出と追跡)」と題し、4章に引き続き動き情報の利用方法を論じ、前章の **two stream** をさらに長期的かつ高次の動き情報を扱えるよう発展させている。具体的には、提案手法として検出と追跡を同時的に行うために相互相関関数に基づく物体の移動量推定、再帰的畳み込みネットワークに基づく時空間パターンの抽出などを利用した新たなネットワーク構造を提示している。評価実験においては、提案手法が既存の検出や追跡のみに特化した手法と比べ、検出と追跡の両面で高性能を達成する点で効果的である点を明らかにした。特に野鳥画像データセットにおいて4章にて提示された **two stream** 検出器をさらに上回る性能を達成した。

第6章は「**Novelty-tolerant detection by classification-reconstruction learning** (分類と再構成の同時学習に基づく新出事象に頑健な検出)」と題し、未知環境への検出器の汎化を可能とするためにオープンセット性を扱う枠組みを提案している。先行研究として機械学習において学習データにより網羅されなかった未知事象を扱うオープンセット分類を踏襲しつつ、物体検出においては学習時と異なる未知環境への適用を考慮した時に対象データのオープンセット性が問題になる点を論じている。さらにオープンセットを扱うための新手法として分類と再構成の同時学習に基づくオープンセット認識 (**Classification-Reconstruction Learning for Open-Set Recognition: CROSR**) を提案し、分類学習のみに依存していた従来手法に対して、一般ベンチマークにおいてより高い性能が達成できる点、さらに野鳥データセットにおいて学習とテストを別の立地におけるデータを用いても環境差に対する頑健性が高くなる効果が示された。

第7章は「**Conclusion (結論)**」であり、本論文の主たる貢献をまとめ、今後の展望について述べている。

以上を要するに、本論文は、野鳥の広域監視という屋外実応用において、深層学習に基づく検出器の頑健性向上の方法について論じたものであり、検出器の評価用データセットを構築・一般公開するとともに、動き情報の利用・未知環境への汎化の2点において新手法に基づく性能向上を示しており、電子情報学の各分野の今後の進展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士 (情報理工学) の学位請求論文として合格と認められる。