

論文内容の要旨

博士論文題目 Convolutional Neural Network Approaches for Spatial and Temporal Classification Using High-Resolution Sensor Data

(高解像度センサデータを用いた空間・時間分類のための畳み込みニューラルネットワーク手法)

氏 名 Yohanssen Pratama

(論文内容の要旨)

本論文では、時空間領域における高解像度センサデータの分類に向けた畳み込みニューラルネットワーク (CNN) の応用について検討する。これらのデータ領域には、ノイズ、解像度のばらつき、撮影条件の不整合といった特有の課題が存在し、材質および物体種別の分類を困難にしている。本研究では、各データの種類の特性に特化した CNN ベースの手法を開発することにより、これらの課題への対処を図った。

時間領域においては、単一光子検出器 (SPAD センサ) を用いて、ピコ秒単位の光子到達時間を記録する高時間分解ヒストグラムを取得し、材質固有の時系列情報として利用する。本研究では、1次元畳み込みニューラルネットワーク (1D CNN) を用いたピクセル単位の材質領域分割手法を提案し、SPAD センサの高時間分解能特性を活かすことで、ノイズの多い環境や低照度条件下においても高精度な分類を実現した。

空間領域においては、顕微鏡画像中の寄生虫卵の検出および分類を対象とし、YOLO (You Only Look Once) 物体検出フレームワークを適用した。この検出処理は、解像度の変動や照明条件の不整合による影響を大きく受けるため、深層潜在空間に基づく画像復元および GrabCut に基づくデータ拡張手法を導入し、画像品質の向上と多様な撮像環境下における高精度な検出を可能とした。

本論文の貢献は、時空間領域でのデータ分類において CNN ベースのフレームワークを提案し、その分類信頼性を向上させた点にある。時間領域では、高時間分解 SPAD データを処理するために 1D CNN を応用し、時系列信号解析における

頑健なアプローチを示した．空間領域では，YOLO を基盤とした顕微鏡画像の物体検出パイプラインを構築し，困難な撮像条件下での前処理技術の有効性を実証した．これらの成果により，高解像度センサデータを活用した精密かつ効率的な分類技術における CNN の汎用性が示された．

(論文審査結果の要旨)

本論文では、時間と空間のそれぞれの領域において、スケールの小さい高解像度センサデータを対象として、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) に基づいた分類手法を提案している。高解像度データでは、ノイズや計測条件の不整合などの特有の問題が見られるが、これらをデータの種別に特化した方法で解決する手法を述べている。

1 つ目の時間領域については、単一光子検出器 (SPAD センサ) を用いて、物体表面に照射したレーザの反射光強度を約 13 ピコ秒の時間分解能で計測し、材質を分類できることを示した。光子の到達時間を記録した高時間分解ヒストグラムを時系列情報として扱い、1 次元畳み込みニューラルネットワーク (1D CNN) を用いてピクセル単位で材質の推定を行った。プラスチックなどで生じる表面下散乱は時間的に遅れて観測されることを利用しているが、形状の違いについてもある程度は対応できていることが明らかにされている。

2 つ目の空間領域については、顕微鏡を用いて撮影された寄生虫卵を、YOLO (You Only Look Once) 物体検出フレームワークを用いることで、検出および分類する手法を示した。この検出処理は、解像度の変動や照明条件の不整合による影響を大きく受けるため、GrabCut に基づくデータ拡張手法を導入することで、画像品質の向上と多様な撮像環境下における高精度な検出を可能とした。

以上の 2 つの問題を、時空間領域での CNN ベースのフレームワークによるデータ分類という枠組みで捉え、十分な学習データが用意できない場合においても、分類精度を向上できることを示した。最終試験においては、論文中の用語の定義や提案手法の貢献などに関する質問があり、いずれも明確な回答があった。時間領域と空間領域に関する両手法は、それぞれ査読付き学術論文と国際会議で発表された。本研究は、コンピュータビジョン分野において、学術面での貢献を認めることができる。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値ある物と認める。