

Deep Learning Approach for Practical Plant Disease Diagnosis

HUU QUAN, Cap

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

82

(発行年 / Year)

2021-09-15

(学位授与番号 / Degree Number)

32675甲第525号

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2021-09-15

(学位名 / Degree Name)

博士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00024532>

博士学位論文
論文内容の要旨および審査結果の要旨

論文題目	Deep Learning Approach for Practical Plant Disease Diagnosis		
氏名	HUU QUAN Cap		
学位の種類	博士（工学）		
学位番号	第 525 号		
学位授与年月日	2021 年 9 月 15 日		
学位授与の要件	法政大学学位規則第 5 条第 1 項第 1 号該当者（甲）		
論文審査委員	主 査	彌富 仁	教授
	副 査	尾川 浩一	教授
	副 査	周 金佳	准教授

1. 論文内容の要旨

植物病害に対する診断は、専門家による目視による方法が第一で、病害に対しては必要に応じて遺伝子検査などが行われるが、時間的・金銭的コストがかかる。こうした背景から、深層学習技術を積極的に活用した画像解析に基づく植物病自動診断技術の開発が近年盛んになってきた。しかしこの問題は、一般的な物体認識問題に比べ、識別したい対象（病害）を表す特徴が、より多様であるとともに曖昧である場合が多い。また学習に利用できる信頼できる教師画像の入手も高コストである。そのため識別器は過学習しやすく、これまで学術論文などで報告されている多くの手法は、未知の圃場で評価した際に十分な精度が得られない。こうした背景から頑健性の高い識別器の構築技術が求められている。

本論文では、深層学習技術に植物病害の特徴を活用した様々な独自の工夫を加えることで、未知の環境の症例に対しても高い診断精度を実現する実践的な植物病害自動診断のための様々な提案を行っている。それらは大きく、(1) 広域圃場からの一括診断に関する手法、(2) 診断精度を向上させる超解像手法、(3) 識別器の頑健性および精度を向上させるための学習用画像の生成に関する手法 の3つに分類され、本論文の各章を構成している。

本論文の構成は以下のとおりである。

1 章では、画像を用いた植物病自動診断技術の研究の背景と歴史を具体的な文献資料を提示しながら総括するとともに、提案技術を実現するために関連する基礎技術を紹介した。

2 章では、ビニールハウス等の定点観測カメラやドローンからの撮影を想定した、診断対象が多数含まれる広域撮影画像からの実践的な自動診断技術に関する提案である。広域からの一括自動診断は利便性が高く、実用化が強く望まれている。機械学習分野で優れた物体検知（今回の場合は葉）および分類が同時に行える最先端の **end-to-end** 手法は、一般的な物体認識では優れた精度が報告されているが植物病害診断の際には、上記の理由により望ましい性能が得られない。本章では、実際の屋内きゅうり圃場の写真に適用して、こうしたモデルを活用することの問題点を明らかにして、その解決手法を提案した。**End-to-end** モ

デルは、植物病診断タスクでは極めて過学習を引き起こしやすく、同一圃場内では極めて優れた精度を示すが、異なる圃場では性能が十分に得られない。そこで本章では、同技術を葉領域の検出のみのために用い、検出された各領域に通常の深層識別器で診断を行う手法(2-stage)の提案を行った。提案する 2-stage 手法は、学習のための教師データの作成コストも大幅に低いうえに、未知の環境において性能面で大きく優れる (Macro F1 スコアで 20.7→37.3) ことを示し、実用性の高いシステム実現のための道筋を示した。

3 章では、植物病害診断を目的とした高精度高精細の超解像手法を提案している。植物病の自動診断において、解像度は診断精度向上のために重要な要素であることを明らかにし、特に広域画像からの診断において、カメラから遠い部分の領域の解像度は低下し診断精度に大きな影響を及ぼすことを示した。機械学習分野で最高峰の超解像手法の ESRGAN は、植物画像に対しても高精細な超解像画像を生成することができ、この問題の緩和につながると期待されたが、一部の画像に無視できない斑点状の artifact を発生させ後段の識別器に悪影響を及ぼす可能性がある。こうした背景から本章では artifact が発生しない植物病の超解像に特化した超解像手法である Leaf Artifact-suppression super resolution (LASSR) 法を提案している。LASSR は、EARGAN 同様、複数の深層学習器が敵対的に学習を行う構成に加え、artifact を抑制する独自の学習機構を備える。LASSR の評価は、超解像画像の評価で広く利用される FID 指標および、識別器の学習画像の超解像化による診断精度の向上度合いで行った。ここで実施した診断タスクは、6 クラス (5 病害 + 健全) 合計 36,000 枚のきゅうり葉画像を最先端の CNN モデルである EfficientNet 識別器で学習、別圃場の約 10,000 枚画像を評価するものである。LASSR による超解像画像は ESRGAN のような artifact 発生がなく、FID 指標でも画質の優位性を示した。また LASSR を用いて 4×4 倍の超解像処理を施した画像を、学習画像に適用した場合、超解像処理を行わない場合に比べて平均精度で約 21% の性能向上 (64.9%→86.0%) を果たした。この数値は同条件の ESRGAN(83.5%) よりも 2.5% 程度良好であり、提案する LASSR の有効性を示した。

4 章では、深層識別器の精度・頑健性を高めるために、高精度の学習用画像を生成する技術についての提案を行っている。植物病の自動診断タスクにおいて、感染が確実な病害画像を大量に準備することは容易ではなく、学習データの不足や、カテゴリ間の偏りは診断精度に悪影響を及ぼす。提案する LeafGAN 法は、比較的大量に入手できる健全画像に、病徴の特徴を、敵対的生成ネットワークを活用したスタイル変換技術を用いて付与する。近年広く知られるようになったスタイル変換手法である CycleGAN を利用すると、注目していない背景部分などに意図しない変化が起こり不自然な画像が生成されることが多い。提案する LeafGAN は、注目する葉領域のみに病徴を付与する独自の学習機構を持たせることで、自然な病害画像を生成することができるため、効果的な data augmentation の一種として活用することができる。きゅうり病害 5 クラス計 12,000 枚を ResNet101 識別器に学習し、別の圃場の画像 4400 枚を評価する評価タスクにおいて、LeafGAN による data augmentation 効果を測定した。既存の CycleGAN で病害画像を生成し、識別器の学習画

像を増加させた場合に、診断精度は 0.7%しか向上しなかった (71.3→72.0%) のに対し、LeafGAN は、平均 7.4%の性能向上が得られた (71.3→78.7%)。このように既存手法が事実上性能の向上がみられないのに対し、提案手法は大幅な性能向上を実現し有効性を示した。これは LeafGAN が学習により獲得する画像生成のための確率分布が、その仕組みの上から、元の学習データとは異なるように学習され獲得されるため、識別器から見ても本質的に別データとして認識されたためと考えられる。このように元の学習データとは異なる生成確率分布から生成された画像が **data augmentation** 効果が得られたと考えられる。このように **data augmentation** として活用できる画像生成技術は、植物病害タスクに限らず広く有用な技術といえる。

以上のように、本論文では画像を用いた自動診断における実践的な技術について提案をしている。

2. 審査結果の要旨

本学位請求論文は、深層学習技術を活用した画像解析手法を植物病害自動診断技術に応用し、その有効性を示したものである。審査の結果、以下の点において工学的新規性と有効性を確認した。

1. 複数の診断対象を含む広域圃場画像に対する実践的な診断技術の開発

植物病害の診断は、一般物体認識問題に比べて識別したい対象（病害）を表す特徴がより多様で、また曖昧である場合が多い。そのため識別器は学習画像に容易に過学習する。広域診断を可能にする物体検出と識別を同時に行う深層学習モデルは特に過学習しやすく、また教師データ作成のコストは極めて大きい。提案する 2 段階手法は、検出＋識別モデルの利点を生かしつつ、これらの問題を解決し実用的な精度が得られる実践的なシステムであり、広域圃場診断実現の道筋をつける重要な貢献である。

2. 高精度で頑健な自動診断技術実現のための超解像手法の開発

画像診断において病徴を適切にとらえることが重要であるが、現実的な場面、特に広域診断では不鮮明な画像しか得られない場面が少なからず発生する。提案する超解像技術 LASSR は、既存の最先端の超解像技術 ESRGAN で時折発生してしまう **artifact** を抑制するとともに、より高精細な画像を生成できる。またこうして得られた超解像画像を学習に用いることで大幅な診断精度向上を実現したことは、実用上の大きな貢献である。

3. 同技術実現のための高精細な学習用画像生成技術の開発

提案された LeafGAN は、高精細で自然な病害画像を「生成」することが可能であり、それを識別器の学習に用いることで識別精度を大幅に向上させることができることを示した。これは従来の機械学習技術での実現が難しく、植物病自動診断技術にとって極めて大きい

貢献である。また、この考え方は他の分野にも活用できる汎用的な機械学習技術である。

以上のように、本論文は深層学習技術を応用し、実用的な植物葉自動診断技術の方法論を確立したものである。その貢献は当該分野の発展に大きく寄与するものであると認められるとともに、植物病害の診断以外の幅広い分野にも応用可能である。

また本論文を中心に、関連する学問領域の口頭試問を、外部識者を含め行った結果からも申請者が十分な学識を有していると判断された。

よって、本審査小委員会は全会一致をもって提出論文が博士（工学）の学位値するとの結論に達した。

（報告様式Ⅲ）