

(様式 5)

2022 年 12 月 15 日
Year Month Day

学位（博士）論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph.D. candidate)	工学府博士後期課程 電子情報工学 専攻 (major) 2020 年度入学(Admission year) 学籍番号 20834305 氏名 欧陽 辰 (student ID No.) (Name)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	清水 郁子
論文題目 (Title)	伸縮可能なモジュール式ロボットを用いたトマトの病気モニタリングシステムに関する研究 Tomato Disease Monitoring System Using a Modular and Extendable Robot
論文要旨（2000 字程度） (Abstract(400 words)) ※欧文・和文どちらでもよい。但し、和文の場合は英訳を付すこと。 (in English or in Japanese) 本論文では、新型ロボットの開発を行い、温室において自動的にトマトをモニタリングし、病気を検出するシステムの提案について述べる。トマトは世界中で最も多く生産されている野菜で、主に温室で栽培されている。しかしながら、温度など環境の条件が細かく制御されている温室においても、トマトは依然として病気にかかる。人手による病気の発見は非効率的であり、コストも高い。最近の研究では、ディープラーニング技術を用いてトマトの病気を自動的に検出や識別することができるようになっている。しかし、ディープラーニング技術だけでは実際に温室に栽培されているトマトの病気を自動的に発見することができない。一方、トマトの画像やビデオデータを収集するためにロボティクス技術を利用した研究が存在している。しかし従来の研究で提案または用いたロボットは機構の制限で撮影範囲は限られており、全てのトマトをカバーすることができず、モニタリング用ロボットとしては機能が不足している。そこで、本研究では、全てのトマトを撮影できる伸縮可能なデザインを持つモジュール式のロボットを提案する。そしてディープラーニング技術を用い、収集したトマトの画像データから病気を検出ために精度の高い 2 段構造の病気検出モデルを提案する。さらに、上記の提案を統合し、ロボットの位置情報を利用し、システムは検出した病気のトマトの具体的な場所をユーザに報告する機能を実現する。 第 1 章「序論」では、トマトの生産量や栽培環境などについて紹介し、病気をモニタリングする重要性と必要性に関して述べた。そして病気モニタリングシステムを実現するために利用可能なディープラーニング技術とロボティクス技術に関して言及した。特に最近の研究において提案または使用したロボットなどの欠点や不足について指摘した。最後に、本研究の目的について何を目指しているのかを明確にした。	

第2章「関連研究と技術」では、伸縮または昇降可能なベーシックなデザインを紹介し、そして最近の研究でそれらのデザインを応用した例を挙げた。また、本研究に直接関わる分類ネットワークと物体検出ネットワークの構造と仕組みを示した。最後に本研究で使ったハードウェア面とソフトウェア面のツールやロボットの製作方法についても説明した。

第3章「トマトの病気モニタリングシステム」では、本研究で提案したトマトの病気モニタリングシステムについての詳細を示した。トマトの栽培環境の特徴に基づいたシステムの設計方針を説明した。ここでは、トマトの病気のモニタリングを実現するためにロボットや病気検出モデルの必要な機能や設計方針について説明し、それを元にしてシステムのアーキテクチャについて論じた。それから、アーキテクチャに基づきロボットと病気検出モデルの詳細をそれぞれ説明した。まず、ロボットについて、詳しいデザインについて述べ、メカニズムの仕組みをモジュール毎に説明し、伸縮可能な機構のデザインを示した。さらに、メカニズムについての説明とモジュールの配置方法を示した。そして、ロボットのハードウェアシステムについての説明を行い、電気システムとソフトウェアシステムについても紹介した。次に、病気検出モデルについて説明した。物体検出ネットワークと分類ネットワークを組み合わせた2段階構造にデザインする理由と機能に関して述べた。そして具体的なデザインを説明した。最後に、システムの使い方や流れについて明示した。

第4章「実験、結果とディスカッション」では、実験の方法と結果を出し、それに基づいてディスカッションを行った。まず、実験の環境について紹介し、実験を行うためにロボットと環境に対してのセッティングや定義を説明した。実験においてトマトの尻腐れ果のみに注目したデータのフォーマットなどについて示した。それから、適切なデータセットの分割方法を見つけるために異なる分割方法で作ったデータセットをそれぞれ紹介した。それらのデータセットに基づき、複数の物体検出ネットワークのトレーニングを行い、結果を定量的に比較した。そして最もよい性能を示した学習済みのYOLOv5lを用いて分類ネットワーク用のデータセットを作成し、最もバランスのよいネットワークとしてMobileNetv2を選択した。さらにテストセットを用いて、YOLOv5lのみの実行結果と提案の2段階構造のモデルの実行結果を比較した。モニタリングシステムの実装結果も示した。最後に、それらの結果に対して考察を行い、実装結果や、異なる分割方法によって作成したデータセットの影響、2段階構造の病気検出モデルの性能、システムの限界と不足について論じた。

第5章「結論」では、本研究の内容についてまとめた。そして本研究の成果と貢献、汎用性について言及し、最後は今後の展望に関して述べた。

付録では、ロボットの回路図と設計図を示した。

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

Based on the appearance of tomatoes, it is possible to determine whether they are diseased. Detecting diseases early can help the yield losses of tomatoes through timely treatment. However, human visual inspection is expensive in terms of the time and labor required. This paper presents an automatic tomato disease monitoring system using modular and extendable mobile robot in a greenhouse.

Our system automatically monitors whether tomatoes are diseased and conveys the specific locations of diseased tomatoes to users based on the location information of the image data collected by the robot, such that users can adopt timely treatment.

This system consists of two main parts: a modular, extendable mobile robot that we developed and a server that runs a tomato disease detection program. Our robot is designed to be configured and extended according to the actual height of the tomato vines, thus ensuring that the monitoring range covers most tomatoes. It runs autonomously between two rows of tomato plants and collects the image data.

In addition to storing the image data of tomatoes, the data server runs a program for detecting diseases. The program contains a two-level disease detection model: a detection network for detecting diseased tomatoes and a validation network for verifying the detection results. The validation network verifies the results of the detection network by classifying the outputs of the detection network, thus reducing the false positive rate of the proposed system.

Experimentally, this work focuses on the blossom-end rot of tomatoes. In this paper, YOLOv5, YOLOv7, Faster R-CNN, and RetinaNet are trained and compared on datasets divided by different conditions. YOLOv5l showed the best results on the randomly divided dataset: the mAP@0.5 reached 90.4%, and the recall reached 85.2%. Through the trained YOLOv5l, a dataset was created for training the classification networks: ResNet, MobileNet, and DenseNet. MobileNetv2 achieved the best overall performance with a 96.7% accuracy and a size of 8.8 MB.

The final deployment to the system included YOLOv5l and MobileNetv2. When the confidence threshold of YOLOv5l was set to 0.1, the two-level model's false positive and false negative rates were 13.3% and 15.2%, respectively. Compared to using YOLOv5l alone, the false positive rate decreased by 5.7% and the false negative rate increased by only 2.3%. The results of the actual operation of the proposed system reveal that the system can inform the user of the locations of diseased tomatoes with a low rate of false positives and false negatives, and that it is an effective and promotable approach.