

氏名	高 朋博
学位の種類	博 士 ( 生物資源工学 )
学位記番号	博 甲 第 9063 号
学位授与年月日	平成 31年 3月 25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	生命環境科学研究科

学位論文題目 Agricultural Features Recognition System Using UAV: A Machine Learning Approach for Precision Agriculture  
UAVを用いた農業機能認識システム：精密農業のための機械学習アプローチ

主査	筑波大学准教授	博士 (農学)	トファエル アハメド
副査	筑波大学准教授	博士 (農学)	野口 良造
副査	筑波大学助教	博士 (農学)	源川 拓磨
副査	筑波大学教授	博士 (農学)	松下 秀介
副査	筑波大学教授 (連携大学院)	博士 (農学)	元林 浩太

## 論 文 の 要 旨

無人航空機 (以下「UAV」) を利用した高度な精密農業を展開させるためには、UAV による圃場や果樹園の高解像度マッピング、人工知能による圃場や果樹園の特徴の認識と分類、局所的かつ正確な農薬散布と肥料散布、土壌水分量に応じた灌漑散水のための意思決定支援などが重要となる。本研究の目的は、農作業に用いる農業資材の積載量や飛行動力のためのバッテリー充電量が十分でない現在の UAV の性能を前提として、農薬や肥料の適正散布を行うための散布領域と非散布領域の認識、灌漑管理を行うための局所的な土壌水分分布の把握、農産物輸送に向けた移動対象の位置把握のための機械学習システムを開発することにある。

著者は第一章と第二章において、圃場特徴の認識と分類を行うためのセンサネットワークシステム、相互部分空間法 (以下「MSM」)、機械学習アルゴリズム、RGB カメラとサーマルカメラの応用手法、フィールド基準データの取得手法について述べた。つづく第三章において、UAV による圃場や果樹園での農薬散布と肥料散布を想定して、散布領域と非散布領域を高速かつ高精度に認識するための MSM 機械学習システムの開発を行った。茨城県つくば市にあるネギ圃場、キャベツ圃場、ニンジン圃場、栗や柿の果樹園を対象として、散布領域と非散布領域の認識のために、4K カメラを搭載した UAV (DJI Phantom 3 Pro) によって、5 m と 15 m の高度から画像データ取得を行い、MSM 機械学習システムにもとづく自己学習を行った。オフライン認識システムでは、得られた圃場や果樹園のデータセットを用いた自己学習によって、MSM の有効性が示されるとともに、散布領域と非散布領域の認識では、圃場と果樹園に対してそれぞれ 70%、77% の精度を得た。オンライン認識システムでは、5 m の高度で 84%、15 m の高度で 68% となり、低い高度からの画像取得による高い認識精度が示された。なお、認識のための計算時間は、平均 0.004 s となった。開

発された機械学習システムは、自律型 UAV によるリアルタイム散布において、散布領域と非散布領域について 70% の認識精度を有することが明らかとなった。

著者は第四章において、圃場や果樹園の土壌水分を推定するために、サーマルカメラによる熱画像の放射較正による土壌水分の測定手法を提案した。屋内と屋外において、異なる含水率のサンプル土壌を用いて、熱画像から土壌表面における土壌水分の測定精度の確認を行った。また、熱画像と土壌水分のデジタル数との相関関係を明らかにするために、モノリシック分析を行った。その結果、熱画像と土壌水分の相関は、屋内 ( $R^2=0.85$ )、屋外 ( $R^2=0.79$ ) となった。サーマルカメラから土壌水分マップを作成するために、Oriented FAST and Rotated Brief (以下「ORB」) と Speeded-up Robust Features (以下「SURF」) による特徴抽出が用いられた。Python2.7® と OpenCV® を用いて、ORB と SURF による複数の熱画像のモザイクの性能が比較され、二つの隣接する熱画像の平均モザイク精度は ORB で 61.4%、SURF で 89.7% となり、高精度なマッチングを行うことによって、SURF は熱画像から容易に検出できることが示された。

著者は第五章において、地図ベースや目標追跡によって UAV へ追従する自律的な電気自動車隊列 (以下「EPV」) を提案した。3D-RGB カメラを用いた実験データとシミュレーションデータから ORB による認識を行い、UAV と EPV の適応型ローカルナビゲーションを可能にするために、不要な機能を排除してノイズの低減を行った。シミュレーション結果から、拡張カルマンフィルタによって 36% の不要な特徴を減少させることが可能となった。さらに、農産物輸送の支援のためのナビゲーションシステムと EPV は、道路ナビゲーションによるリーダー・フォロアの構成とし、EPV プラットフォームは、圃場や移動対象の特徴の認識と 3D ベースの画像取得によって構築された。また、UAV からのデータによる ORB は、ナビゲーション立案システムのエッジ検出において、高い精度を示した。

以上を総括すると、本研究は、自律型 UAV によるリアルタイム散布作業に向けた圃場や果樹園での散布領域と非散布領域の特徴を短時間かつ高精度に認識し分類できる機械学習システムの開発、屋内と屋外で行われた土壌水分検出のための熱画像キャリブレーションとモザイク化、さらに、ORB にもとづく自律的な輸送物流のための UAV と EPV の位置調整機能に対して、大きく貢献できることが示された。

## 審 査 の 要 旨

本研究は、UAV のローカルナビゲーションによる農薬散布や肥料散布のリアルタイム適用に向けた散布領域と非散布領域の特徴認識のための MSM ベースの機械学習システム、土壌水分量推定のための熱画像処理、EPV と協調した UAV ベースのローカルナビゲーションについて、開発のための重要な学術的指針を与えた。以上から、本論文は、高い学術的価値を有し、博士論文としてふさわしい内容であると判断される。

平成 31 年 2 月 7 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士 (生物資源工学) の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。