

氏名	張 燕		
学位の種類	博 士 (生物資源工学)		
学位記番号	博 甲 第 9065 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	Development of a Machine Learning System for Safety of Operators in Agricultural Farm Environments Using Machine Vision (マシンビジョンを用いた農業圃場における操縦者安全のための機械学習システムの開発)		
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

世界的な農業機械の普及や農業従事者の年齢の多様化が進むなかで、農業機械の操作の危険性や事故の増加が懸念されている。農業機械操縦者（以下「操縦者」）の不注意行動による事故を回避するためには、操縦者の行動とともに、農業圃場や道路、障害物といった農村環境の認識にもとづく安全システムの開発が求められる。本論文の目的は、マシンビジョンによって操縦者の行動と農村環境を認識するために、操縦者のための安全システムに必要な、機械学習システムを開発することにある。そこで、農業機械へのセンサ配置の検討を行うとともに、Kinect センサ、サーマルカメラ、および単眼カメラを用いて、視覚情報センサによる操縦者の行動と農村環境の監視システムを開発した。また、Kinect センサとサーマルカメラによる操縦者の一連の操縦画像と単眼カメラによる道路画像の収集を行い、操縦者の行動と農村環境の情報化を行った。

著者は第一章と第二章において、農業機械の操縦における安全性と危険性、センシングデータを用いた機械学習法について述べた。つづく第三章において、部分空間法による機械学習法を論じるとともに、非線形解析のために Kernel Mutual Subspace Method（以下「KMSM」）を用いて、相互部分空間法の拡張を行った。また、開発された KMSM ベースの機械学習システムを用いて、操縦者の行動と農村環境の認識と監視を行うための大規模データセットの設計と開発を行った。さらに、緊急対応システムに必要な低負荷計算アルゴリズムと高精度認識アルゴリズムを開発するとともに、KMSM にもとづくデータ処理システムを用いて、事故が発生したときに操縦者を救助するためのリアルタイムアプリケーションを開発した。

著者は第三章において、操縦者の不注意行動を認識するための Hankel ベースの KMSM を用いて、農村環境における道路種別を分類するための機械学習システムを開発した。リアルタイムでの操縦者の行動認識を行うとともに、計算上の複雑さを軽減するために、高解像度の生画像を低次元ベクトル画像へと自動的にサイズを変更できるアルゴリズムの開発を行った。サイズが変更された低次元ベクトル画像は、入力された道路画像と、動作シーケンスのための表現としての低次元ブロック Hankel 行列を生成するために使用された。また、操縦

者行動と道路種別の分類のために設計されたスライディングウィンドウの使用によって、プログラムの稼働時の安定性と効率が改善された。

著者は第四章において、KMSM と Hankel ベースの KMSM の性能評価を行った。道路種別のデータセットでは、整備された道路と整備されていない道路のそれぞれにおいて、曲線道路、直線道路、交差点道路の三つのカテゴリーを用いた。道路種別のデータセットの確立のために、代表的な道路として、雑草の有る農道、雑草の無い農道、日本において公共的に利用可能な農道を選択した。10 の主題と 5 の分類による操縦者行動のデータセットのなかで、事故の原因となる可能性が高いとされる不注意行動として、電話での会話、目をこする動作、うなずき、あくび、その他の不注意行動が選択された。操縦者の不注意行動は、三つの危険度レベルに分類され、各危険度レベルの動作への対応策も同様に分類された。また、操縦者の危険度レベルを示す最小化リスク機動 (Minimal Risk Maneuver) が、さまざまな道路状況下でのシステム応答として定義され、操縦者に対して減速、停止、路傍への移動について警告を行う救助システムが開発された。

著者は第五章において、KMSM と Hankel ベースの KMSM アルゴリズムを用いて、道路種別の分類のために、類似した道路および異なる道路での道路走行状況について、機械学習アプローチを用いた訓練と試験を行った。また、操縦者の行動認識のために、複数の被験者による不注意行動による認識性能を評価した。KMSM を用いた道路種別の分類では、オフライン分類正解率は、曲線道路、直線道路、および整備された道路の交差点道路で、それぞれ 97.7%、98.1%、および 95.4% であった。オンライン分類正解率は、整備された道路の曲線道路、直線道路および一般道と農道の交差点道路で、それぞれ 100%、85.5%、および 91.6% であった。平均計算時間はそれぞれ 0.03 秒であり、短時間計算によるリアルタイムシステムとして実行できることが明らかとなった。RGB 画像を使用した Kinect センサによる操縦者の行動についての平均認識精度は、類似の被験者と異なる被験者による評価用データセットを用いた場合、それぞれ 91.2% と 86.2% であった。さらに、操縦者の行動認識の精度は、類似した被験者および異なる被験者に対して、評価用データセットを用いた場合はそれぞれ 92.2% と 47.5%、RGB 画像を用いた場合はそれぞれ 87.0% と 80.0%、熱画像を用いた場合はそれぞれ 83.2% と 42.8% であった。平均計算時間は、RGB 画像と熱画像でそれぞれ 0.07 秒と 0.08 秒であった。これらの結果から、短時間計算による迅速な対応を可能とする救助システムを、現在の農業機械のアプリケーションとして実装できる可能性が示唆された。

以上を総括すると、本研究を通じて提案された KMSM および Hankel ベースの KMSM の方法は、農業機械操縦者の行動と農村環境を短時間かつ高精度で認識できることから、本手法を用いた機械学習システムによって、操縦者の救助を含む農業機械の安全システムの開発に寄与できることが明らかとなった。

審 査 の 要 旨

本論文は、農業機械の安全システムの開発に不可欠な、農業機械操縦者の行動の監視、道路種別分類と緊急対応システムの開発手法を、不注意行動や疲労感知を伴う操縦者の挙動データセット、KMSM と Hankel ベースの KMSM 機械学習法を用いて明らかにしたものであり、マシンビジョンベースによる農業機械への実装について重要な指針を与えた。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 1 月 24 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。