

学 位 論 文 題 名

物理除草のための画像解析による作物検出手法の研究

学位論文内容の要旨

本論文は6章21節で構成され、図47、表16、引用文献81を含む総頁数158頁の和文論文である。他に参考論文13編が添えられている。

北海道では、野菜生産の急速な拡大に伴って栽培作業の機械化、省力化が緊急の課題となり、国の緊急開発事業によって各種の移植機や収穫機が開発されつつある。さらに除草作業においては、食糧の安全性、自然生態系への負荷の低減などの観点も加わって、無・減農薬の新しい除草技術として畦間ばかりか、株間の雑草をも取り除く物理的除草機械の開発が要望されている。この実現には、高精度な制御機能を持った除草装置が必要となるが、その前提として、作物の位置や大きさを認識するインテリジェント化された検出手法を確立せねばならない。

本研究は、野菜畦の上方から撮影した雑草が混在する画像から作物のみを検出する画像解析システムを構築し、多種の作物と雑草に適用でき、天候など自然環境条件の変動に対応できる柔軟性のある処理アルゴリズムを開発して、物理的除草機械を実現するための基盤となる技術を確立したものである。

第1章は緒論、研究目的および研究動向について述べた。

第2章ではRGBカラーカメラと画像処理装置を用い、作物畦のRGB画像について土と植物体を色で分離し、これを2値化して作物と雑草とを大きさで識別する手法を開発し、以下の結果を得た。

- 1) 土と植物体（野菜と雑草）の分離法は、RGB画像成分による画面間演算のうちG-R法が最も優れている。
- 2) 2値化手法は、統計的手法を用いる判別分析法が、モード法、pタイル法、微分ヒストグラム法より優れ、かつ、照度の変化に柔軟に対応できる。
- 3) 作物と雑草の分離法は、2値化した物体の面積、最大水平・垂直弦長の三つを計測し、各々しきい値を設定して、条件を二つ以上満たしたものを作物とみなす方法が優れている。本手法は作物と雑草の生長速度差により、レタスで定植か

ら概ね30日まで、キャベツで40日程度まで、ハクサイはそれ以上の期間で適用でき、機械除草を行うための時間的余裕は十分に確保できる。

4) 本システムの精度は、照度の大きな影響を受け、暗い時ばかりか明るすぎてもブルーミング現象によって性能が落ちるため、カメラにN.D.フィルタを装着して検出精度を向上させる手法を見出した。4,000lxから60,000lxの広い照度範囲で検出できる撮影方法は、1/64N.D.フィルタを装着し、自動露出よりもF値およびゲインを固定するマニュアル撮影が優れており、その検出誤差は、面積で4%以内、両最大弦長で3%以内となった。

第3章では、放射温度計となる赤外線カメラと画像処理装置を組合わせた熱画像処理システムを構成し、土と植物を表面温度の違いによって分離した後、2章と同様に雑草と作物を識別する手法を開発し、次の結果を得た。

1) 赤外線カメラの検出温度を、植物の葉温を中心とすることができるだけ狭い範囲とし、地温など領域外の温度を単一色として表すよう設定することにより、画像入力と同時に土と植物体が分離できる。

2) 日中は地温と葉温の差が大きくなって、検出は容易であるが、低水分土壌条件下の夜間では、地温と葉温の差がなくなり、熱画像情報では作物を検出できない時間帯が存在する。

3) 地温および葉温は、気温、日射量、湿度および風速と密接な関係にある。これらの気象要素の測定を熱画像収集と並行して行うことにより、赤外線カメラの最適な検出温度領域を自動的に設定できる可能性がある。

4) 2章のRGB画像処理システムは、日射量の大きい高照度条件下で検出精度が劣り、低照度条件下で優れるが、3章の熱画像処理システムは、高照度条件下で地温と葉温の差が大きくなって検出上効果的であるものの、低照度条件下で測定できないため、両システムの性能は互いに補完し合う関係にある。

第4章ではファジィ推論手法を用いた作物検出法を確立した。2・3章で行った雑草と作物の分離法は、作物を消去しないようにするため、時には雑草が残り易いアルゴリズムを選択せざるを得ない。この問題を改善するため、植付けられた作物の位置関係をもとにしたファジィ推論による識別手法を開発して、精度の向上を図った。結果の概要を以下に述べる。

1) 作物は格子状に配置されていることを前提とすれば、全ての作物には『設定条間(株間)で隣合う二つの作物を結ぶ線分の端点から $\pm 90^\circ$ の方向に別の作物個体が存在し、その距離は株間(条間)に等しい』という規則性がある。しかし、

畦間と株間にばらつきがあるため、株間、条間および物体を結ぶ角度を入力変数とする3入力1出力のファジィ推論で評価し、画像内のすべての物体の組み合わせの中で評価値の高いものを作物と判定する。

2) 2・3章での結果を、本手法で補正すると作物の検出精度は大幅に向上するばかりか、作物検出アルゴリズムで雑草を完全に除去する必要がなくなる。したがって、形状、大きさ等特徴量のしきい値は緩やかに、また、大まかに設定でき、作物が消去される危険性も減ってアルゴリズム全体が安定した手法になった。

第5章では開発した手法を実用技術へ高めるための発展方向を検討し、以下のように整理した。

1) 本研究で検出した作物は、形を単純化し、除草爪による作物損傷を防ぐために作物領域を僅かに拡大して除草部制御用コンピュータに伝えれば、株間除草にも充分対応できる。

2) 自動化された物理除草機の作業能率を、慣行の機械除草作業と同程度とするには、作物検出の1画面当たり2秒以下の処理速度が必要であり、演算を並列処理する機構が必要である。

3) 本研究で開発した抽出手法は、物理除草だけではなく、薬剤のスポット散布、収穫など多くの自動化技術に活用できものである。

第6章は摘要であり、高性能な物理的除草機械の開発に連なる柔軟性のある作物検出技術を確立し、野菜作の機械化進展に寄与できると総括している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 高 井 宗 宏
副 査 教 授 寺 尾 日出男
副 査 教 授 伊 藤 和 彦
副 査 教 授 堀 口 郁 夫

学 位 論 文 題 名

物理除草のための画像解析による作物検出手法の研究

本論文は6章21節で構成され、図47、表16、引用文献81を含む総頁数158頁の和文論文である。他に参考論文13編が添えられている。

北海道では、野菜生産の急速な拡大に伴って栽培作業の機械化、省力化が緊急の課題であるばかりか、除草作業においては安全性などの要求も加わって、畦間と株間の雑草を取り除く高精度な物理的除草機械の開発が要望されている。

本研究は、野菜畦の上方から撮影した雑草が混在する画像から作物のみを検出する画像解析システムを構築し、多種の作物と雑草に適用でき、天候など自然条件の変動に柔軟に対応する処理アルゴリズムを開発して、物理的除草機械を実現するための基盤となる技術を確立したものである。

第1章は緒論および研究動向について述べた。第2章ではRGBカラーカメラと画像処理装置を用いて、作物畦のRGB画像について土と植物体を色で分離し、これを2値化して作物と雑草を識別する手法を扱い、以下の結果を得ている。

1) 土と植物体(野菜と雑草)の分離法はRGBの画面間演算のうちG-R法が、2値化手法は判別分析法が最も優れ、かつ、照度の変化に柔軟に対応できる。

2) 作物と雑草の分離法は、2値化した物体の面積、最大水平・垂直弦長の三つを計測し、しきい値を越える条件を二つ以上満たしたものを作物とみなす方法が優れている。作物と雑草の生長速度差により、本手法は定植後概ね30日以上に適用でき、機械除草を行うための時間的余裕は十分確保できる。

3) 本システムの精度は照度の大きな影響を受け、暗い時ばかりか、明る過ぎてもブルーミング現象によって性能が落ちるため、カメラにN.D.フィルタを装着

し、4,000 lx から60,000 lx の広い照度範囲で検出誤差を4%以内に止めて撮影する手法を見出した。

第3章では、放射温度計となる赤外線カメラと画像処理装置で熱画像処理システムを構成し、土と植物を表面温度の違いによって分離した後、2章と同様に雑草と作物を識別する手法を扱い、次の結果を得ている。

1) 赤外線カメラの検出温度を、植物の葉温を中心とすることができるだけ狭い範囲に設定することにより、画像入力と同時に土と植物体が分離できる。この検出温度域は、葉温と密接な関係にある気温、日射量、湿度および風速を熱画像収集と並行して計測すれば、自動的に設定できる可能性がある。

2) 日中は地温と葉温の差が大きくなって、検出は容易であるが、低水分土壌条件下の夜間では、地温と葉温の差がなくなって、検出できない時間帯が存在する。

3) 2章のRGB画像処理システムは、日射量の大きい高照度条件下で検出精度は劣るが、3章の熱画像処理システムは、地温と葉温の差が大きくなって、逆に検出が容易であり、両システムは補完し合う関係にある。

第4章では、2・3章で行った雑草と作物の分離法を改善するため、作物は畦間株間で規定される格子状に配置されていることを前提としてファジィ推論を適用し、画像内のすべての物体の組み合わせの中で評価値の高いものを作物と判定する手法を確立している。2・3章での結果を本手法で補正すると、作物の検出精度が大幅に向上するばかりか、作物検出のアルゴリズムで雑草を完全に除去する必要がないため、しきい値を緩やかに設定できるし、作物が消去される危険性も減ったことから、前章までのアルゴリズムを安定した手法に改善できた。

第5章では、開発した手法を実用技術へ高めるための発展方向を検討し、検出した作物の形を単純化して、除草部制御用コンピュータに伝えれば、株間除草にも充分対応できることを示している。物理除草機の作業能率を慣行作業と同程度とするためには、作物検出の1画面当たり2秒以下の処理速度が必要であり、演算を並列処理する機構が必要である。第6章は摘要である。

以上のように本研究は、高性能な物理的除草機械の開発に連なる柔軟性のある作物検出技術を確立し、野菜作の機械化に寄与するところ大きいものがある。

よって審査員一同は、別に行った学力確認試験の結果と合わせて本論文の提出者柴田洋一は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。