

氏名	もりもと えいじ 森本英嗣
学位(専攻分野)	博士(農学)
学位記番号	農博第1327号
学位授与の日付	平成15年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	農学研究科地域環境科学専攻
学位論文題目	Vision Based Navigation System for Autonomous Transportation Vehicle (画像処理による運搬車の自律走行)
論文調査委員	(主査) 教授 梅田 幹雄 教授 笈田 昭 教授 池田 善郎

論文内容の要旨

環境保全のために農業の多面的機能が再認識されている。農業を維持するためには、適正経営規模での生産コスト低減が必要である。農作業の無人化、ロボット化がこの問題に対する解決策の1つとして注目されている。なかでも、圃場と倉庫間における苗、収穫物、肥料等の運搬作業の無人化が要求されている。本論文は無人運搬車両に要求されるタスクとして、農道と圃場の境界線検出手法、障害物検出手法、農道交差点検出手法、および交差点進入旋回手法について考察したもので、以下の7章からなっている。

第1章では、本研究の背景、関連する既往の研究について概説し、研究の目的、本論の構成について述べた。

第2章では、供試車両とセンシングデバイスについて述べた。車両は履帯車両で、左右の2つの履帯をそれぞれのHSTで駆動する2ポンプ2モータタイプである。ポンプの吐出量は、ACサーボモータによって独立に操作できるので、超信地旋回が可能である。主センサとして、外界センサであるCCDカメラを用い、画像処理にて農道の端部を認識して走行経路を決定した。画像処理方式は、障害物の検出も可能である。また、交差点への進入と旋回に必要な車軸の回転数はロータリエンコーダで測定した。

第3章では、画像処理による走行経路の検出法と実験結果について述べた。取得したRGB画像をXYZ表色系に変換した後、農道と圃場の境界線をRobinsonフィルタによるエッジの抽出、大津の方法による動的2値化、最後にHough変換を用いて検出した。検出した直線情報から車両の現在位置および姿勢角を推定して車両制御に適用し、一旦境界線が検出できれば次処理時における境界線の存在領域を推定し、処理範囲を限定する手法を開発した。この方式を採用することにより、全画面処理に比べて5倍の高速化を実現した。画像処理速度は10.1Hzであった。走行評価実験として軌跡計測装置にRTK-DGPS(計測誤差0.03m/h)を用いて車速0.8m/sにおける農道100m走行を行った結果、供試車両は、横方向偏差0.2mで安定した直進走行を実現した。

第4章では、自律走行に不可欠な要素である安全の確保に必要な、障害物検出手法について述べた。障害物検出時に農道の色情報が、季節及び時刻による太陽の高さと光の強さにより変化することが問題となる。これを解決するため、農道の色情報をベースとした動的2値化手法を開発した。まず、障害物検出のパラメータには、太陽光の影響を受けにくいHSI表色系を採用し、彩度、明度に対して平滑化、大津の方法による2値化処理を行った。色相は循環値を呈していることから、彩度と明度と同様の処理を適用できなかった。そのため色相の平滑化および動的2値化手法を開発し適用し、論理積で残った画素群を障害物候補画素群とした。最後に微小画素群の除去を行った後に残った画素群を障害物画素群として認識した。次に画像座標系と車両座標系間の座標変換を行うことにより検出した障害物と車両の距離を求めて、危険度の判定を行った。農道での検出実験の結果、開発した障害物検出手法は最大誤差0.4mで障害物を検出できた。障害物検出にかかる画像処理速度は5.9Hzであった。

第5章では、交差点への進入と旋回の手法について述べた。通常の圃場環境では、作物が生育するにつれて直交する農道

の情報が得にくい。このため季節によらず検出するために、高さ 1m、幅 1.5m の L 字形の交差点マーカを対角線上に設置した。このマーカを検出して交差点であることを認識した後、デッドレコニングにより旋回を行う方法を開発した。画像情報には HSI 表色系を適用し、各要素に対して 2 値化、Hough 変換を用いた。さらに画像座標系と車両座標系との座標変換を行い車両から交差点までの距離を推定した。交差点進入・旋回手法にはデッドレコニングを適用し、位置姿勢検出センサとして左右履帯のスプロケットに装着したロータリエンコーダを採用した。供試農道における走行試験の結果、開発したマーカ検出法は処理速度 8.6Hz、最大検出誤差 0.45m で交差点を検出した。また交差点進入における進行横方向誤差は最大 0.33m、RMS 0.063m、進行方向誤差は最大 0.54m、RM0.096m であった。

第 6 章では、ハンガリー国ブタペスト近郊のプランテーションにて、本研究の手法の効果を確認する実験を行ったので、この結果について述べた。実機が持ち込めなかったため走行実験はできなかったが、本手法による外界の認識は、ハンガリーにおいても有効であることを確認した。

第 7 章は、最終章として第 1 章から第 6 章までの結果をまとめた。

論文審査の結果の要旨

環境保全のために農業の多面的機能が再認識されている。農業を維持するためには、適正規模での経営による生産コスト低減が必要である。農作業の無人化、ロボット化がこの問題に対する解決策の 1 つとして注目されている。なかでも苗、収穫物、及び肥料等の運搬作業は農作業の中で人手を必要として無人化が要求されている。本論文は、倉庫から圃場まで資材を運搬する自律走行車を、画像処理による外界認識により実現したもので、評価すべき点は以下のとおりである。

- (1) 外界センサとして CCD カメラを採用し、開発した運搬車を用いて、画像処理による自律走行を行った。車両発進時の全画面に対して経路検出時に XYZ 表色系を用いて、Robinson フィルタ、大津の方法、Hough 変換を順に適用したことで、的確に境界線を検出できることを明らかにした。車両走行時には、前画像で取得した境界線情報に基づき、境界線の存在範囲を予測することにより、検出精度を落とすことなく画像処理範囲の絞り込みができることを明らかにした。画像処理速度は全画面型境界線検出手法と比較して 5 倍となった。
- (2) 障害物検出時の画像情報に HSI 表色系を適用し、季節や時刻による太陽の高さ、光の強さに対応するため、色相の動的 2 値化手法を開発し、彩度、明度と共にしきい値を変動させながら処理を行った。この手法の採用により車両や障害物に含まれる影の領域を除去しながら障害物を検出できることを明らかにした。また異なる季節において適用しても検出精度が落ちなかったことを実験にて確認した。
- (3) 交差点の認識は、季節による風景が変化するため通常の方法では難しい。このため、交差点マーカを設置した。HSI 表色系を適用することで日中における画像情報の経時変化に対応してマーカ検出に成功し、Hough 変換による直線検出において 2 つのマーカが同時に検出されない限り交差点として見なさず、交差点の誤検出を防ぐ手法を開発した。交差点を認識した後の交差点への進入及び旋回は、履帯回転数の検出を用いたデッドレコニング手法を用いて実施した。

以上のように、本論文は、画像処理にさまざまな工夫を加え、安価なカメラを用いて、季節、時刻にかかわらず、農道、障害物、交差点を認識して自律走行を可能とした無人運搬車を開発したもので、フィールドロボティクス、及び農業システム工学の発展、並びに農業ロボットの実用化に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成 15 年 2 月 19 日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。