

平成21年 6月 1日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18580252

研究課題名（和文） 果樹園用知能化多用途作業台車の開発

研究課題名（英文） Development of multipurpose autonomous vehicle for orchard works

研究代表者

武田 純一（TAKEDA JUN-ICHI）

岩手大学・農学部・教授

研究者番号：80133908

研究成果の概要：

本研究では、レーザスキャナを利用して樹木列を検出することにより、目標経路からの横偏差と姿勢角偏差を検出し、果樹園の樹木列間内の自律走行を行う方法を開発し、実車実験でこの方法の有効性を検証した。また、画像処理法を用いる方法についても、赤外線カメラを供試することにより同様に樹木列を検出し目標経路からの横偏差を見いだす方法を開発した。自律走行を行う車両として履帯式台車を供試し、この制御法としてファジィ制御を用い、遺伝的アルゴリズムによりパラメータの最適化を行う方法を提案した。実車実験の結果は、比較的良好で、開発した手法の有効性を検証することが出来た。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,200,000	0	2,200,000
2007年度	600,000	180,000	780,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	330,000	3,630,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：作業台車，自律走行，履帯式車両，果樹園，レーザスキャナ，画像処理

1. 研究開始当初の背景

岩手県は東北地方では青森県について果樹栽培が盛んで、特にリンゴの栽培はその60%を占めており、中でも矮化栽培の面積が60%と全国一の普及率となっている。しかし、栽培の省力化に取り組んでいるにもかかわらず、現場では高齢化する一方の就業人口と相まって、更なる省力化の要望が高まっているのが現状である。

本研究は、リンゴ果樹園作業において作業負担の多い、防除作業，草刈り作業等，多方

面に応用可能な果樹園内自律移動ロボットを開発し、労働負荷の軽減や労働時間の短縮の面から、現場の問題に寄与しようとするものである。

2. 研究の目的

本研究では、このような現状を改善するために、以下4項目について基礎研究・開発を行った。

- (1) 樹木列のリアルタイムセンシング法の開発
- (2) センサフュージョンによる自律移動ロボ

- ットの走行経路生成
- (3) 遺伝的アルゴリズム (GA) およびファジィ制御による自律移動用ロボットの操行制御法の開発
- (4) プロトタイプ自律移動用ロボットの開発

3. 研究の方法

(1) 樹木列のリアルタイムセンシング法の開発

自律走行車両の位置検出法として、GPS やトータルステーション (以後 TS と称す) による測定法があるが、GPS は測距精度が上がると高額になってしまい実車に搭載するには現実的ではない。また、TS は測距儀と光波の反射プリズム間に障害物の無いことが前提条件になるので、樹木の枝や葉が生い茂る果樹園内における測距には適さない。従って、本研究では比較的安価な 2 次元平面内の測距が出来るレーザスキャナ (Sick 社製、LMS291、以後 LS と称す) を供試し、測距範囲を 8m モードとして、樹木列の検出と、目標経路までの横偏差と姿勢角偏差の検出法を開発することにした (図 1)。なお、この検出法の開発では、擬似樹木列として塩化ビニル製の中空パイプをアスファルト路面上の 4m×4m の位置に設置して検出実験を行った。

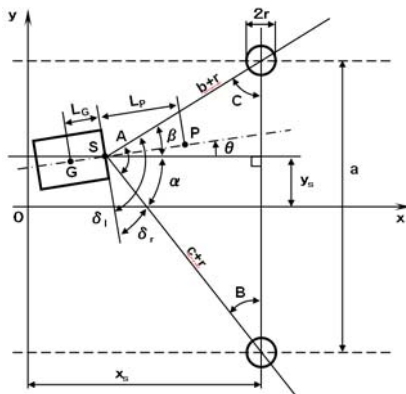


図 1 樹木計測の概念図

また、もう一つの樹木列の検出および目標経路までの横偏差の検出法として、赤外線カメラを地面と平行に台車上に設置することを前提とし、台車前方の左右の樹木列の画像から樹木列線を検出する方法を開発し、更にこれらの樹木列線を基にして、台車の走行すべき目標経路を検出し、この経路からの横偏差を検出する方法を開発した。本方法の検証実験は本学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター滝沢農場内の果樹園にて実施した。

(2) センサフュージョンによる自律移動ロボットの走行経路生成

画像による果樹園の樹木列の検出は、雑草や果樹の葉や枝等によるノイズのある画像から、いかに高速に樹木列を検出するかが重要であり、本研究では赤外線カメラを供試して画像の一次処理の簡略化を試みた。この際、果樹園の樹木列の配置を既知情報として積極的に利用し、画像情報による車両前部の情報と他のセンサをセンサフュージョンさせて、出来るだけリアルタイムで樹木列線 (樹の下部を結んだ線) の検出を行う方法の開発を試みた。

(3) GA およびファジィ制御による自律移動ロボットの操行制御法の開発

作業台車の制御法として、台車の中央長手方向の前方に前方注視点 P を設け、この点と目標経路との横偏差と姿勢角偏差を基に、ファジィ制御器を構成し、仮想操舵角を算出することとした。供試台車として、2 ポンプ 2 モータ式の履带式車両を用いた。この車両は両側の履帯の速度入力により、車両の 3 つの状態変数、すなわち、x, y 方向の位置と姿勢角 θ が求まるので、2 入力 3 出力システムである。このシステムでは、左右の履帯に独立に入力を入れることができることから入力の自由度が大きくなる反面、最適な入力値を見いだすことが煩雑になる。従って、本研究では仮想操舵角という概念を導入し、あたかも自動車の運動をハンドルで操作するように、一次関数を組み合わせて操舵角と履帯速度の関係を決めることとした (図 2)。

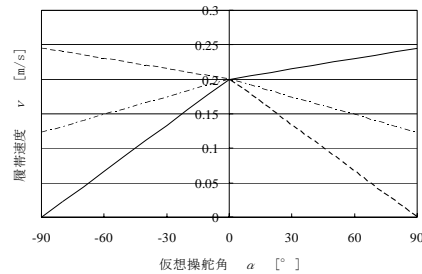


図 2 仮想操舵角と履帯速度の関係

(4) プロトタイプ自律移動用ロボットの開発

制御法検証用の供試機を、図 3 に示す。本供試機には、姿勢角検証用の光ファイバージャイロ (FOG) と制御用のパーソナルコンピュータ (PC)、電源供給用の発電機を搭載している。また、TS を用いた、位置の検証を行うために、TS 用のプリズムを搭載した。地上に固定された TS で得られた測距データは、無線 LAN を介して、PC に送られるようになっている。LS を利用した模擬樹木列間の走行実験の際は、供試機の前方に、LS を地面と水平に設置して、LS のデータ処理用として、更にもう一台の PC を搭載して、実車実験を行った。



図3 供試車両

4. 研究成果

(1) 履带式作業台車の制御法の開発

① 最適なメンバシップ関数の取得

本研究では、GA を用いて目標経路から 1m ずれた位置からの車線変更時の、ファジィ制御法におけるメンバシップ関数の最適化を行った。この際、実車の走行に影響を与える仮想制御点距離の大きさと、走行速度の影響などについても検討し、これらの値が変化しても、GA による最適化を行うことにより最適なメンバシップ関数を得ることができることを、シミュレーションによって確認した。

従って、供試機の自律走行を行うには、目標経路と制御点の横方向偏差および姿勢角偏差を得ることができれば、最適化されたメンバシップ関数を用いて基準軌道へ台車を誘導することが可能となった。図4は最適化された、メンバシップ関数の一例を示す。

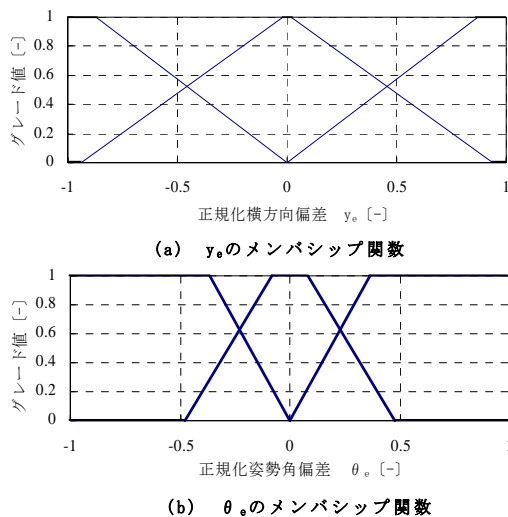


図4 最適なメンバシップ関数の一例

② 実車実験によるファジィ制御法の検証

図5にファジィ制御器を搭載した供試機のコンクリート路面上での走行実験の一例を示す。車両の初期値は、 $x_0=y_0=0$ 、 $\theta_0=0$ 、走行速度 0.2m/s、前方注視距離 0.4m で、車線変更距離 1m の例である。

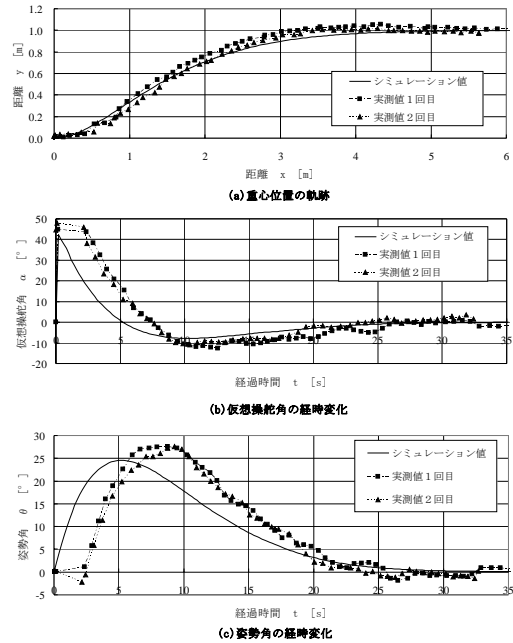


図5 ファジィ制御による台車の制御結果の一例

本図から分かる通り、制御器が制御開始後瞬時に操舵角を変えるよう、アクチュエータに制御入力を与えるが、実際には機械的な遅れを生じていることが分かる。しかし、車体位置の時間歴の結果をみると、ほとんどシミュレーション値と同等の軌跡をたどっていることが示されており、ほぼ満足できる制御結果を得ることができていることが分かった。

(2) 樹木列のリアルタイムセンシング法の開発と台車の自律走行への適用

① LS による樹木列の検出と横偏差・姿勢角偏差の検出と台車の制御

2次元LSを供試機の前方向端に設置し、アスファルト走行路面上に設置した塩化ビニル製の擬似樹木列をセンシングした。供試機の直近の2樹木の直達距離と検出角度を基にし、供試機の目標経路からの横偏差と姿勢角偏差を検出する方法については、おおむね良好なセンシング結果を得ることができたが、台車の位置と姿勢角によっては、1本の樹木しかセンシングできない場合が出現することがあった。この場合、姿勢角と目標経路との横偏差を算出できないので、次列の樹木をセンシングするまで、直進することとした。

より合理的な対策として、台車前方の4本の樹木をセンシング対象とし、これら4本の樹木の同定方法を検討した。車両の初期位置を既知と仮定すると、車両方程式と制御系を用いることにより、随時車両の位置と姿勢角が理論上算出可能である。LSのみのセンシングデータでは4本の樹木の同定が困難な場合があるため、この理論上の車両位置と姿勢角を元にして、4本の樹木の位置と検出角度

の照合を行うこととしシミュレーションを行った結果、本検出法の有効性が確認できた。

また、樹木列端での枕地の旋回方法については、最適な操舵角を実験的に求めて一定操舵角を入力することで旋回する方法について実車実験を行い、25度の操舵角にて操舵することにより、ほぼ満足できる結果を得た。なお、旋回時に側方の2本の樹木列を検出することにより次列までの横方向の樹木列を検出可能であることが分かったので、引き続き圃場実験を行って本手法の有効性の確認を行っている。

欠株のある場合の横方向偏差と操舵角偏差の検出についても、4本の樹木を検出する方法を援用することにより、このうちの2本の樹木の台車との相対位置と相対角度のデータを利用することにより大部分検出可能であることが分かり、よりロバストな検出法を構築できることが分かった。

車線変更実験の結果の一例を図6に示すが、ほぼ満足できる制御結果を得ることができ、樹木列検出理論と制御理論の検証ができた。

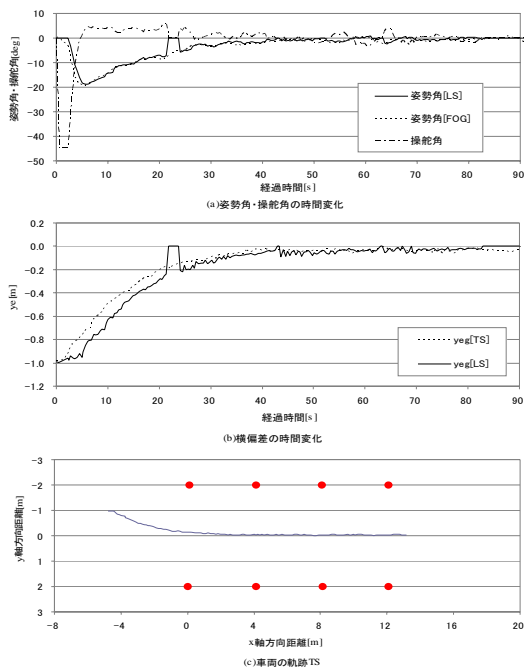


図6 疑似樹木列における制御結果の一例

②センサフュージョンによる自律移動ロボットの走行経路生成

LSによる樹木列の検出と実車実験による制御結果は、ほぼ満足できる結果を得たが、樹園地の状況はいつでも斉一の条件とはいえないので、画像処理法を用いた樹木列検出法と走行経路の生成法について検討した。

本実験では、赤外線カメラを供試して画像を撮影することにより画像の1次処理を簡略化できる可能性を見出した。次に、解析時間短縮のために樹木列の解析対象領域を画

像の中盤領域に絞り、雑草などのノイズ除去のために線形フィルタを利用して、原画像を平滑化し、この平滑化した画像に対して閾値を定めて2値化した。この段階で画像上の雑草等による細かいノイズは比較的目立たなくなった。2値化した画像には樹木の幹部分と土壌の部分が黒画素になって混在している状態であったので、この画素に対して細線化処理を行った後、縦方向の下端の点をメモリし、得られた点列に対して最小二乗法を施し左右の樹木列線を得た。この樹木列線の中央部の点を結ぶことにより、自律移動ロボットの走行予測線とした。

図7には画像処理により得られた樹木の幹部を、図8には幹に四角形を適用して外形を

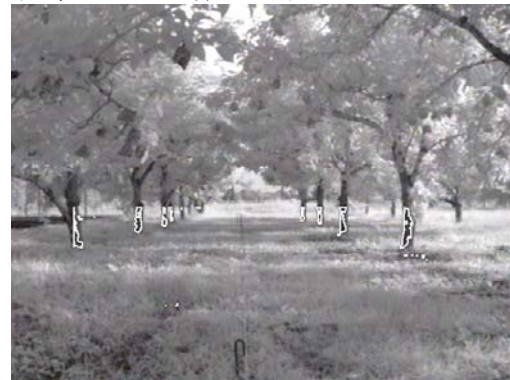


図7 樹木幹部の検出

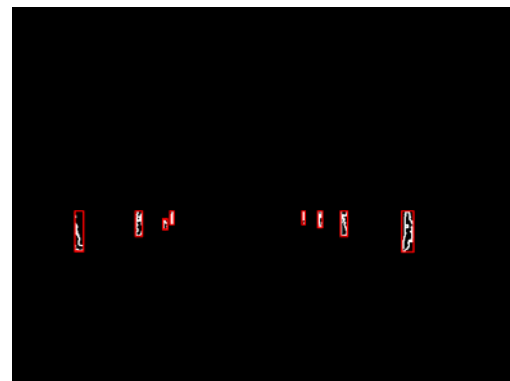


図8 樹木の外形検出



図9 走行経路創出

得た例を、図9にはこれらの検出された幹の下部の点を利用した樹木列線(青色線)と推定走行経路(赤色線)および車体の向き(黄色線)を示した。この結果、本画像処理手法は、比較的短時間で走行経路を推定することができ、車体の走行経路との相対的な横偏差を検出できる可能性を見出した。本研究期間内では実車実験に供することができなかったが、今後、様々な光条件や圃場条件を与えて、問題点を抽出すること、および実車実験への適用を考えている。

以上、3カ年にわたる研究において、果樹園内を自律走行出来る移動用ロボットの開発を試みたが、比較的安価なシステムにて果樹園内の自律走行を試みている例は国内外では殆どなく、コスト削減と農業就業人口の減少に対する一対策として、我が国の農業に貢献できるものと考えられる。今後、開発したシステムの継続実験を行い、更に現場に対応したシステムを研究・開発していく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 武田純一・齋藤雅憲・鳥巢 諒, ファジィ制御による履带式農用車両の自律走行一直線経路への追従制御一, 農業機械学会誌, 71(2), 66-73, 2009, 査読有り
- ② 武田純一・陳玲玲・佐藤三寛・齋藤雅憲, 履带式農用車両の自律走行について一矩形軌道の走行シミュレーションについて一, 農業機械学会東北支部報, 55, 31-34, 2008, 査読無し

[学会発表] (計 4 件)

- ① 武田純一, 堀川 一, Tao S. Po, 齋藤雅憲, 小出章二, 果樹園用自律走行台車の開発一レーザスキャナを用いた自律走行一, 2008. 3. 29, 宮崎・宮崎観光ホテル
- ② Stephen P. TAO, Jun-ichi TAKEDA, Hiroshi SHONO, Segmentation of Apple Tree Trunks for Guidance Path-Finding in Autonomous Orchard Vehicle Navigation, 農業工学関連学会 2007 年度合同大会, 2007. 9. 13, 府中・東京農工大学
- ③ 武田純一・佐藤三寛・陳 玲玲・齋藤雅憲, クローラ型車両の自律走行について一矩形軌道の走行シミュレーション一, 平成 19 年度農業機械学会東北支部大会, 2007. 8. 7, 郡山, 福島県農業総合センター
- ④ Stephen P. Tao, Jun-ichi Takeda, Guidance Path-Extraction Algorithm for Vision-Based Autonomous Orchard Vehicle Navigation, 3rd IFAC International

Workshop on Bio-Robotics, Information Technology and Intelligent Control for Bioproduction Systems, 2006. 9. 9, Sapporo・Sapporo Convension Center

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武田 純一 (TAKEDA JUN-ICHI)
岩手大学・農学部・教授
研究者番号: 80133908

(2) 研究分担者

H18 年度~H19 年度研究分担者
庄野 浩資 (SHONO HIROSHI)
岩手大学・農学部・准教授
研究者番号: 90235721

H18 年度研究分担者

鳥巢 諒 (TORISU RYO)
岩手大学・農学部・教授
研究者番号: 70038264

(3) 連携研究者

H20 年度連携研究者

庄野 浩資 (SHONO HIROSHI)
岩手大学・農学部・准教授
研究者番号: 90235721