

農業用ロボットの実用化に向けての先行研究

電子情報技術科 斎藤 誠二 ・ 生産技術科 平田 彰

Study on Autonomous Agricultural Robot for Practical Applications

Seiji SAITOU and Akira HIRATA

概要 現在、日本の農業分野における労働力不足や農業就業者の高齢化が問題となっており、その対策として、農作業の軽減化・省力化が重要であり、電子技術・制御技術を利用した農業機械の開発が急務となっている。このような背景のもと、平成24年度からの3年間、農業機械メーカーである企業と農業用ロボットの自律走行実現化に向けた共同研究に取り組んだ。本共同研究の目的は、自律走行可能な農業用ロボットの実用化が挙げられるが、その他、企業における電子技術・制御技術の蓄積を図り、今後、各種農業機械に電子制御システムを導入する上で必要な開発環境を構築することもある。

本報では、農業用ロボットが自律走行するために必要な電子制御システムの開発と制御アルゴリズムの構築を行うために取り組んだ内容と結果についての一部を報告する。

1. はじめに

日本は世界でも類を見ないスピードで少子高齢化が進展しており、これに伴う生産年齢人口の減少と人手不足に直面する課題先進国である。農業分野においても例外ではなく、従業者の高齢化から深刻な労働力不足が懸念されている。そのような中、日本再興戦略2014の中で、ロボットによる新たな産業革命を実現するための戦略として、農業を含む非製造業でのロボット市場を2020年までに20倍に拡大するとの方針が出されている。実際に、無人で農作業を行う農業用ロボットの技術開発が進めば、生産効率は飛躍的に高まることが期待される。

今回、共同研究を実施した企業は、農業機械の開発・生産・販売を一貫して行っている農業機械メーカーで、国内外で社会進展に寄与している。

現在、研究本部において、ビニールハウス内で農薬散布を行う“防除ロボット”の開発を行っているが、電子技術・制御技術を駆使した農業用ロボットの開発は難しい課題となっており、農業用ロボットの電子化への対応が急務となっていた。そこで、防除ロボットを開発対象とし、本共同研究に取り組むことになった。

研究内容としては、ビニールハウス等の屋内環境を前提とし、車輪型ロボットが決められた走行路を自律走行するための電子制御システムの開発と制御アルゴリズムの構築をめざした。具体的には、各種センサを用いたロボットの進行方向（姿勢角）の推定と自己位置の算出技術を用いて、自ら状況を判断し動作する機能を電子制御技術によって確立することである。また、本共同研究では走行性能を評価する際に使用する車体の製作にも取り組んだ。

本報では、共同研究で行った取組みの報告と技術移転内容の一部について報告する。

2. デッドレコニングによる制御

2.1 デッドレコニング

自律走行を実現するための制御手法では、ロボットの現在位置と姿勢角を算出する必要がある。自律走行ロボットの自己位置を検出するための方法は、デッドレコニングとスターレコニングに分類することができるが、共同研究の1年目は、ロータリーエンコーダやジャイロセンサなどの内界センサを用いて、自己位置と初期位置からの車体の相対角度を計測する手法であるデッドレコニング

を採用し、共同研究に取り組んだ。図1にデッドレコニングによるモータ制御ブロックを示す。左右モータと車体角度の制御はPID制御を用いて行った。

図2に運動モデルを示す。本モデルはロボットの滑りを無視したモデルであり、 (X_k, Y_k) は時刻 k の車体の現在座標、 (X_t, Y_t) は目標座標である。本手法は目標軌跡に追従するようにロボットを制御する方法で、現在座標と目標座標からモータ速度制御に必要なパラメータを求めている。現在座標 (X_k, Y_k) は以下のように求められる。

$$\begin{aligned}\theta_k &= \theta_{k-1} + \Delta\theta_j \\ \Delta L &= \frac{(\Delta L_R + \Delta L_L)}{2} \\ X_k &= X_{k-1} + \Delta L \cos(\theta_{k-1} + \Delta\theta_j / 2) \\ Y_k &= Y_{k-1} + \Delta L \sin(\theta_{k-1} + \Delta\theta_j / 2)\end{aligned}$$

ここで、 θ_k は車体の姿勢角、 ΔL_R と ΔL_L は左右車輪の制御周期における移動距離、 $\Delta\theta_j$ は制御周期における姿勢角の変化量を表す。実際の制御周期における移動距離と姿勢角は、ジャイロセンサとロータリーエンコーダから求めている。今回採用したデッドレコニングによる制御式を以下に示す。

$$\begin{aligned}\theta_t &= \theta_k - \theta \\ \Delta V &= K_t \theta_t + K_{tD} \dot{\theta}_t \\ V &= K_v l_t \\ V_R &= V - \Delta V \\ V_L &= V + \Delta V\end{aligned}$$

ここで、 K_t 、 K_{tD} 、 K_v は制御パラメータ、 V_L 、 V_R は左右車輪の指令速度、 θ 、 l_t は現在座標と目標座標から得られる角度と距離を表す。

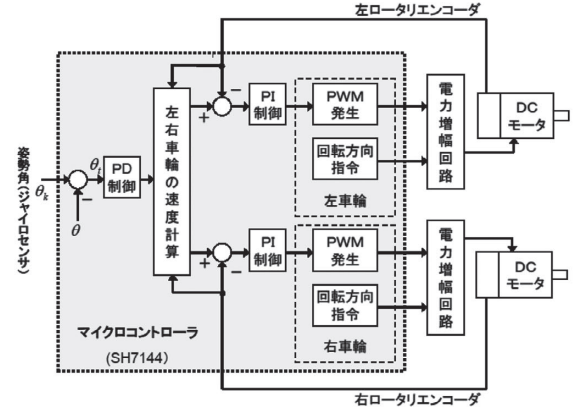


図1 モータ制御ブロック

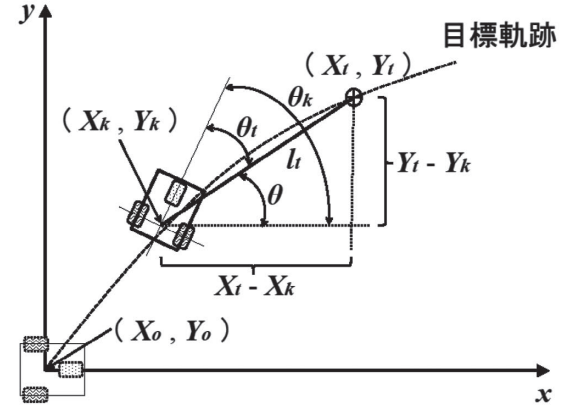


図2 運動モデル

2.2 シミュレーションによる動作検証

提案した制御式を検証するために、制御系シミュレーションソフト (MATLAB、Simulink) を使用し、図3に示すモデルを作成し、走行シミュレーションを行った。ここで、シミュレーションでのパラメータは、自律走行試験で使用したモータ等のデータシート、パラメータを同定するために行った実験で得られた値を使用した。また、ジャイロセンサから得られる姿勢角については、シミュレーションでは左右車輪の移動量から算出した値を使用した。

左右モータと車体角度の制御に使用するPID制御ゲインは、シミュレーションを繰り返し、試行錯誤により得られた値を使用した。

図4に目標軌跡とシミュレーションの結果である走行軌跡を示す。

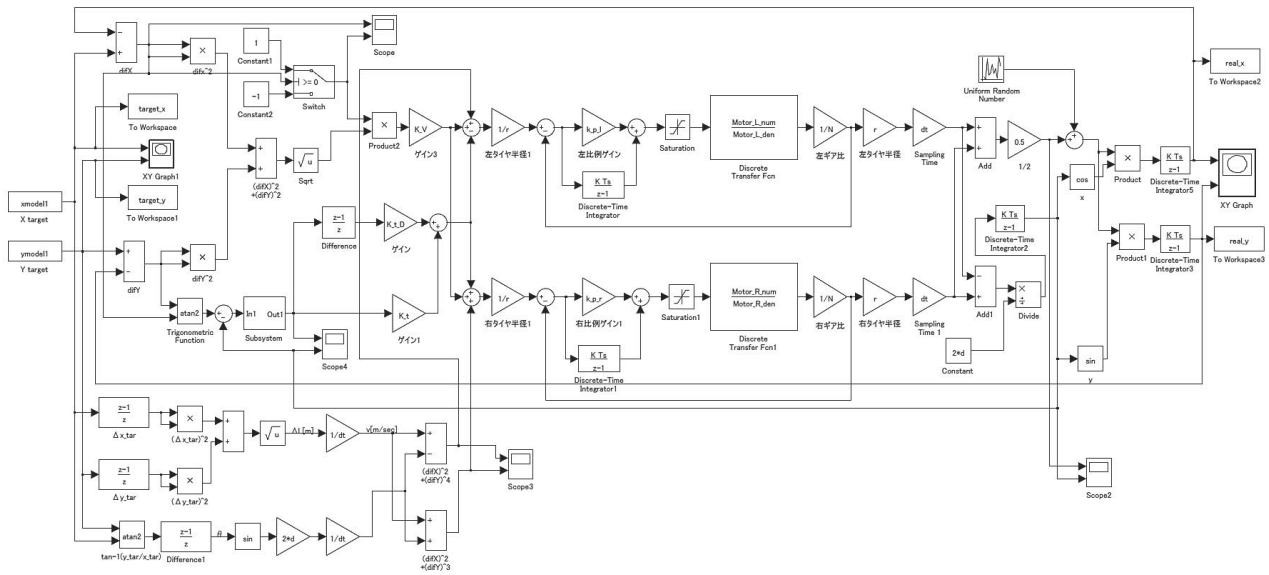


図3 シミュレーションモデル

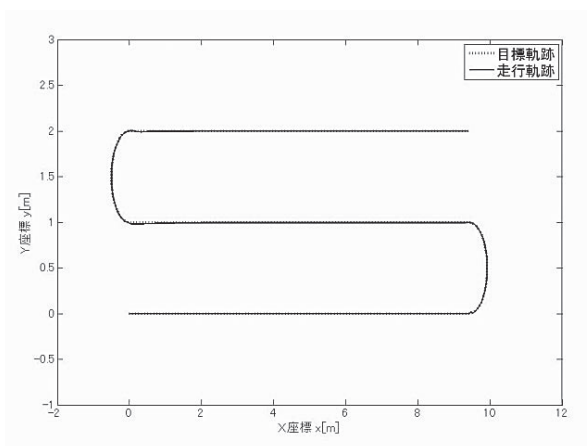


図4 シミュレーション結果

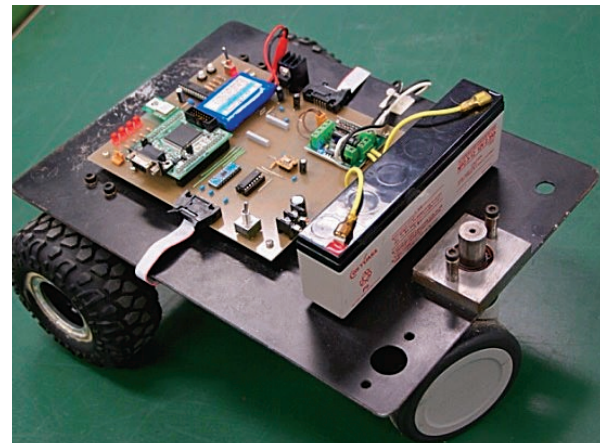


図5 走行実験に使用した車体

目標軌跡は、図中の $(x,y) = (0,0)$ から X 軸の増加方向に移動し、3つの直線と2回の旋回で構成されている。結果から、目標軌跡と走行軌跡に良好な一致がみられ、本制御手法が有効であることが確認できる。

2.3 自律走行試験

ジャイロセンサを用いたデッドレコニングの走行精度を評価するために、評価用に製作した車体(図5)を使用し、平坦な路面において自律走行試験を行った。

目標軌跡は、右旋回で半径0.5mの半円となる軌跡で、目標座標の各データはあらかじめマイクロコントローラ(以下、マイコン)に登録してお

き、制御周期0.1s毎に目標座標が移動するように与えた。図6に走行試験における目標軌跡と走行軌跡を示す。ここで、走行軌跡のデータは上記で紹介した現在座標の計算をマイコンで行ったもので、車体に搭載している無線通信機器(ZigBee規格対応機器)からパソコンに送信したデータを表示したものである。

目標軌跡と走行軌跡の偏差は若干生じたものの、精度よく軌跡に追従している。また、図4に示す目標軌跡での走行も何度か行ったが、 $\pm 5\text{cm}$ の誤差以内で走行した。しかし、走行中にジャイロセンサのドリフトエラーが発生し、走行距離に比例して累積誤差が増加することを確認した。また、悪路での走行試験ではジャイロセンサを用い

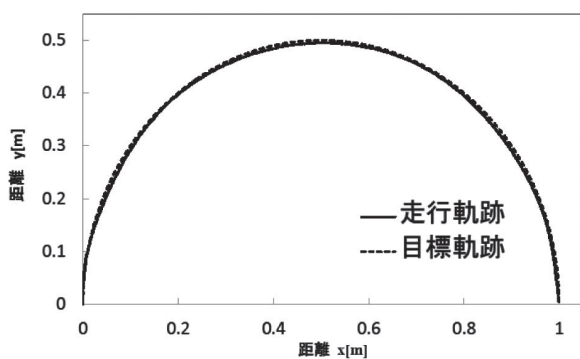


図 6 旋回走行結果

たデッドレコニングによる自己位置推定が難しく、路面が平坦でない場所を走行する農業用ロボットには本制御手法を適用することは問題が多いことが確認でき、GPS 等のセンサによる車体の自己位置認識技術を利用したスターレコニングを適用する必要性を再確認した。

3. スターレコニングによる制御

3.1 スターレコニング

スターレコニングの一般的な手法として、外界センサである GPS を用いた WGS-84 系絶対座標をもとにした絶対位置計測方法がある。

将来的に防除ロボットをビニールハウス等で使用することを考えると、数 cm 誤差での位置計測が可能な GPS センサが必要となるが、その精度を満足するセンサは数百万円と高額なものとなる。そこで、本研究では比較的安価な GPS センサを使用した絶対位置検出技術を確認することと、GPS センサを使用したスターレコニングでの制御アルゴリズムをシミュレーションで確認するまでを行った。これらは、今後 GPS センサの高精度化と低価格化が進み、防除ロボットに使用可能となった際に参考になるものとする。

3.2 GPS データ

一般的に、GPS センサから得られた位置情報は WGS-84 系の緯度・経度で表されるため、ロボット制御に利用するためにはこれらを距離系座標に変換する必要がある。

本研究では、GPS のデータ受信と緯度・経度

座標から平面直角座標系への変換には、ロボット制御用マイコンとは別のものを使用し、1 秒毎に取得する緯度・経度から平面直角座標系に変換した座標を、ロボット制御用マイコンに I2C 通信により送信している。

3.3 制御アルゴリズム

ロボットの自律制御を行うために、GPS センサとジャイロセンサから得られた車体位置と姿勢角を組み合わせる場合、両センサの座標系を一致させる必要がある。

今回、デッドレコニングとスターレコニングのお互いの欠点を克服するために、2 つの手法を組み合わせるセンサフュージョンの手法を提案した。

4. おわりに

本共同研究では、企業における電子技術・制御技術の蓄積を図る目的もあったため、自律走行ロボットとしては基礎的な内容であるデッドレコニングでの走行制御から実施した。研究を進める中で得られたシミュレーション、制御プログラム、制御システムに関するデータは、今後の開発に利用してもらうため、共同研究企業に提供し技術移転を行った。

文献

- 1) 前山祥一・大矢晃久・油田信一，移動ロボットの屋外ナビゲーションのためのオドメトリとジャイロのセンサ融合によるデッドレコニング・システム，日本ロボット学会誌，vol.15, No8, pp.1180～1187, 1997
- 2) 木瀬道夫・野口伸・石井一暢・寺尾日出男，RTK-GPS と FOG を使用したほ場作業ロボット（第 1 報），農業機械学会誌，vol.63(5)，pp.74-79，2001
- 3) 木瀬道夫・野口伸・石井一暢・寺尾日出男，RTK-GPS と FOG を使用したほ場作業ロボット（第 2 報），農業機械学会誌，vol.63(5)，pp.80-85，2001
- 4) 水島晃，農用車両のための航法センサに関する研究，北大農研邦文紀要，vol.27(1)，pp.199-267，2005

著者 E-mail Saito.Seiji@jeed.or.jp