

ArduPilot と RealSense を用いた クローラ型温室内自律走行車両の開発

渡邊翔生^{†1} 小池誠^{†2} 峰野博史^{†3}

静岡大学大学院総合科学技術研究科情報学専攻^{†1}

静岡大学大学院自然科学系教育部^{†2}

静岡大学大学院情報領域/グリーン科学技術研究所^{†3}

1. はじめに

近年, IoT 技術の進展により, 施設栽培環境での環境情報や植物の成長記録収集手法が活発に研究されている. データ収集手法として, 広範囲にセンサデバイスを設置する方法が考案されてきたが, 対象処理区が大規模になるほど, デバイス数の増加や設置作業の複雑化, 維持管理労力, 経費等の課題があり, それらを解決するためにロボティクス技術を活用した手法が注目されている. 労力や経費の低減のため, 農業施設内を自律的に移動できるロボットの研究開発 [1] が盛んである. しかし, 室内のように走行路が平坦でなく, 左右のタイヤの回転数が微妙に変化する環境下において, フローリングで動作する掃除ロボットのようなバッテリーの自律充電は難しい.

施設栽培環境において, 市販のラジコンカーに Raspberry Pi や RealSense 等のデバイスを組み合わせ, 自律充電機能を備えた植物の生長記録収集システムを開発する. 先行研究 [2] では, 4 輪のラジコンカーを車体として自動充電に着目しており, リトライ機能を搭載し 60% の精度で充電を可能とした. また, 悪路であっても走行可能にするため, クローラ型のラジコンカーを採用し, 各種機材を接続したプロトタイプ車両を用いて単純な制御で基礎実験を行った [3]. 本研究では, IMU を使用した走行制御の改良と 3 つの ArUco マーカー [4] を使用して自動充電の精度向上を目指す.

2. 施設栽培向け自走車両の研究開発事例

自律走行車両の制御に接触型センサを使用する研究 [5] がある. 事前に設置した走行ルール上を, 接触型センサを用いることで自律的に移動する手法であり, 植物が繁茂した狭い通路を安定的に移動可能であるが, レールを設置する手間や走行ルートの制約といった課題がある. LiDAR を使った手法 [6] では, SLAM を活用して高精度な自律走行が可能だが, 地図作成の計算量や植物成長による深度情報の変化への対応が必要であり, 処理落ちやバッテリー切れの課題もある. UWB を利用した制御 [7] では, 基地局と自走デバイスの距離から正確な位置を算出し, 地図上の経路を走行可

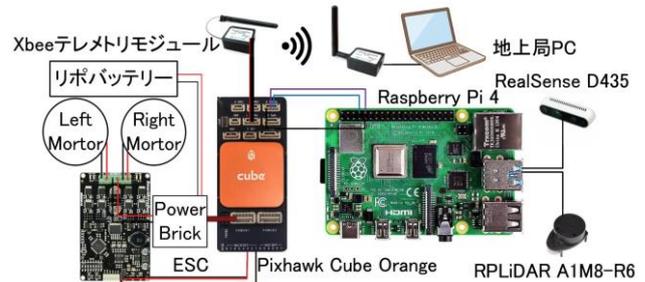


図 1 ハードウェア構成

能である. しかし, 植物や農業用機材による障害物が多い環境では, 電波を用いた高精度な位置推定が難しいという課題がある.

3. 提案するクローラ型自律走行車両

3.1 想定する施設栽培環境

本研究で対象とする稼働環境は, 整地は行われているが, 地面のカバーが一部剥がれていたり, ホースや摘葉された葉や茎等が通路上に放置されていたりする一般的な施設栽培環境である. そのため, 悪路や多少の障害物を越えられるクローラ型を選択した.

3.2 ハードウェア・ソフトウェア構成

本研究の自律走行車両のハードウェア構成を図 1 に示す. 制御システムは, Pixhawk (Pixhawk Cube Orange) と, Raspberry Pi 4 を併用する方式を提案する. Pixhawk のファームウェアとして ArduPilot を利用し, ROS (Robot Operating System) も活用した. また, Pixhawk と Raspberry Pi 4 の通信には MAVLink (Micro Air Vehicle Link) を用い, Pixhawk と Raspberry Pi 間の通信は MAVROS を使用する.

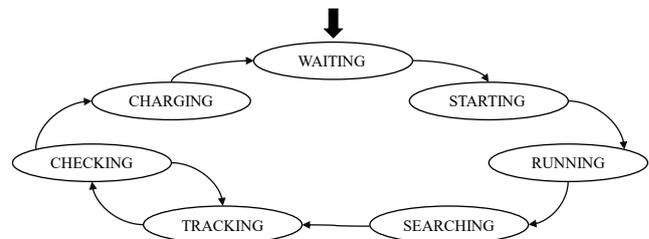


図 2 自律走行車両の状態遷移図

Development of a crawler-type greenhouse autonomous vehicle using ArduPilot and RealSense

^{†1} SHOKI WATANABE, Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University

^{†2} MAKOTO KOIKE, Graduate School of Science and Technology, Shizuoka

University

^{†3} MINENO HIROSHI, College of Informatics, Academic Institute, Shizuoka University, Research Institute of Green Science and Technology

3.3 状態遷移

自律走行車両の状態遷移図を図 2 に示す。車両を適切に制御するために 7 つの状態を定義した。この状態遷移は、制御端末の Raspberry Pi 上で動作する。Raspberry Pi に接続されている RealSense や Pixhawk から得られる車両の角度情報を元に、Pixhawk に車両制御信号を送信する。

3.4 走行制御

RUNNING 状態時の基本的な制御である直進制御と左右旋回制御は、双方とも Pixhawk の IMU から得られる地磁気データを用いて、磁場に基づく車体の方位角を計算する。

直進制御では、植物列に侵入する前の車両角度を初期値として、角度を取得しながら制御を行う。また、異常動作や障害物検知のため RealSense から得られる左右中央それぞれの一定画角内の平均深度情報から車両を制御する。左右旋回制御では、農業ハウス内に設置する ArUco マーカを認識し、該当するマーカに任意の距離近づき次第、角度情報を利用して、車両を 90° 旋回させ再び直進する。

3.5 自動充電制御

充電ステーションの帰還アルゴリズムを図 3(a)に示す。TRACKING 状態時の自動充電制御では、RealSense を用いる。充電ステーションに対して斜めに侵入すると正常に充電ができないため ArUco マーカを 3 つ使用し、正確さを重視して充電ステーションへ帰還する。はじめに前面の ArUco マーカ (点 A, 点 B) を認識し、式(1)(2)を満たす点 P, 点 P', 点 Q の座標を求める。各点は線分 AB の中点 C を通る法線上の点である。つまり、点 P, 点 P'は中点 C から距離 d, 点 Q は中点 C から距離 l 離れた点である。車両の位置や角度によって RealSense から取得する画角が変化するため、この 3 点を用いて制御し、点 Q を目標位置とする。このような走行制御によって、車両を充電ステーションに対し距離 l 離れた位置へ移動させる。その後、充電ステーション中央の ArUco マーカを認識し、中心点が画角中央に存在するように制御し充電ステーションに帰還させる。

$$\overline{AB} \cdot \overline{CP} = 0 \quad (1)$$

$$\|\overline{CP}\| = d \quad (dは任意) \quad (2)$$

4. 基礎実験

4.1 通常走行実験

先行研究のアルゴリズムに IMU に関する制御を加え、走行制御に関する基礎実験を行った。車両が走行経路に設置した ArUco マーカを認識し、各マーカに設定した動作をするか確認した。実験は安定した走行ができる室内と農業ハウス内で行った。実験を行った施設栽培環境を図 3(b)に示す。実験では、直進制御と左右旋回制御が正常に制御可能なことを確認した。特に、先行研究では地面の状態によって、旋回する角度にブレが生じていたものの、IMU からの角度情報を使用することで、正確に旋回することを確認した。

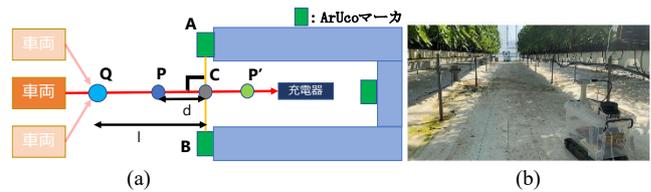


図 3 充電ステーション帰還アルゴリズムと施設栽培環境
表 1 実験結果

手法	実験回数	結果
先行研究[1]	10	30%→50%→50%→60% (リトライあり)
提案手法	25	85% (成功数: 21回)
提案手法 (ガイドあり)	10	100%

4.2 充電ステーション帰還実験

開発した自律走行車両を用いて、充電ステーション帰還実験を行った。RealSense から得られる ArUco マーカの各点から算出する点 P, 点 P'の距離を 20cm, 点 Q までの距離を 60cm とした。実験結果を表 1 に示す。車両の位置や角度を変えて実験を行ったところ、84% (回数: 25 回) の精度で充電ステーションに帰還できた。また、4 回の失敗要因として、目標点 Q まで十分な距離がないために、目標点に到達できず、充電ステーションに衝突した。衝突を防ぐためにクローラに接触するようなガイドを充電ステーションに設置したところ、100% (回数: 10 回) 帰還することを確認した。

5. おわりに

本研究では、施設栽培環境における植物の成長記録収集システムを提案した。IMU を使用した走行制御の改良と 3 つの ArUco マーカを使用して自動充電の精度向上を確認できた。実際の施設栽培環境での自律運転車両の走行制御に関する基礎実験を行い、システムの実現可能性を検証し、改良点の抽出をした。今後は Qi 充電を活用し、長期運用可能なシステムとなるよう開発していく。

謝辞 本研究の一部は、JST 創発的研究支援事業

(JPMJFR201B) の支援を受けたものである。また実験環境を提供してくださった株式会社 Happy Quality の皆様に感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 有山 達也, 伊藤和寿: "農業用搬送台車の自律移動における課題と開発事例", J-STAGE, システム/制御/情報, vol.65, No12, pp.489-494(2021).
- [2] 伴 元輝, 小池 誠, 峰野 博史: "自律充電機能を備えた植物の生長記録自動収集システムの提案", DPSWS, pp.100-106(2021).
- [3] 渡邊 翔生, 小池 誠, 峰野 博史: "ArduPilot と三次元深度情報を用いたクローラ型温室内自律走行車両の提案", 情処研報 Vol.2023-CDS-38 (2023).
- [4] ArUco: a minimal library for Augmented Reality applications based on OpenCV, available from < https://www.uco.es/investig/grupos/ava/node/26>(accessed 2024-01-12).
- [5] Ota, Tomohiko, et al: Development of small automatic guided vehicle by contact detection to hydroponics cultivation system, JARQ 53.1, pp.31-40(2019).
- [6] Jon Eivind Stranden: Autonomous driving of a small-scale electric truck model with dynamic wireless charging, Master thesis, Institutt for teknisk kybernetikk, (2019).
- [7] Yao, Lijian, et al: Wireless positioning and path tracking for a mobile platform in greenhouse. IJABE, 14.1, pp.216-223(2021).