

2020年度 新産業創出研究会「研究成果報告書」

「移動面画像処理に基づく無軌道式無人搬送車の開発」

[岡山大学・助教] [永井 伊作]

1. はじめに

工場や物流の無人化率を進めて製造コストを低減するための無人搬送車(AGV)の利用は増加しており、最近では人手不足から市街地において自動走行で宅配するロボットも国内外で広まっている。このような無人の車両移動を支える基幹技術は自己位置推定であり、様々な手法やセンサ機器がある。代表的なものに LiDAR(レーザ距離スキャナ)を用いる手法があるが、周辺固定物が移動すると位置誤差が生じる問題がある。また、前方カメラを用いる手法には周辺風景や外光条件の違いで計測精度が低下する問題がある。複数の手法を組み合わせる方法もあるが、信頼性保証の困難さや実証実験に時間がかかり、使用場所も限定的である。ラインやランドマーク等が整備された環境を前提とする誘導方法も古くからあるが、導入に手間と費用がかかる上、経路の変更が困難という問題がある。

こうした問題の解決のため、申請者は移動面に着目したビジュアルオドメトリを研究してきた。これは図1に示すような車両内部に搭載したカメラを用いて移動面が持つ自然な模様を独自の画像処理アルゴリズムにより視覚追跡し、軌跡推定、経路記憶および誤差修正を行う自己位置推定法である。この手法は、

環境整備が不要、周辺固定物の配置変化に影響されない、内部照明があるため外光に影響されない、片道経路を1回教示するだけで経路が簡単に設定できる、経路の変更・追加が容易、利用可否が路面の種類のみで判定できる、センサはカメラ1台で製造コストが小さい、などの利点を併せ持つ。また、様々な高速化技法によって近年のスマートフォンや ARM ボードコンピュータでも動作し、画像1枚あたり 0.6%のわずかな画素数で経路点情報を構成するため長距離経路でもメモリ使用量が少ない。

本研究では、この位置推定法に基づく AGV の試作1号機(図2)における諸課題を解決し、より簡素化された車体構造を持ち、旋回性能および動作時間を向上させることで、ラインやマーカ等の環境整備が事前に必要な従来型 AGV と比較して、導入期間が短く、柔軟な経路設定が行える新方式の試作2号機を開発する。

2. 概要

試作1号機の開発経験と試験運用から得られた知見を踏まえて、本研究では以下に示す改善点を考慮しつつ試作2号機を設計・製作し、実用化に向けた評価を行う。

(1) 車体寸法の小型化…工場の幅 1 m の通路における人とのすれ違いを考慮すると、車体の幅は 0.5 m 以下が望ましい。また、一度にラック2個を搬送するため全長は 0.7 m 以上必要。

(2) 車体構造の簡素化…試作1号機の駆動方式は、6つのモータを用いた 4WS・4WD であったが、より低コストにするために移動ロボットで一般的となっている独立2輪駆動方式を検討する。

(3) 旋回性能の向上…試作1号機の最小回転半径は大きく、製造ライン間の通路幅が狭い場所での使用が制限される。独立2輪駆動式の採用により、その場での旋回が可能で車体構造とする。

(4) 動作時間の拡大…画像処理と車両制御のために試作1号機ではノートPCを用いたが、より低消費電力の ARM ボードコンピュータへ変更し、そのためのソフトウェアを開発する。

(5) 操作インターフェースの改良…搬送車に設置したノートPCの画面を走行中に確認・操作することは難しいため、無線接続された端末から遠隔操作できるようにする。

(6) 画像処理アルゴリズムの強化…照度のムラや変化に対して影響を受けにくい画像探索のための改良

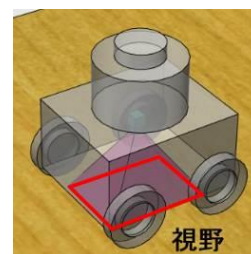


図1 移動面を撮影する内部構造



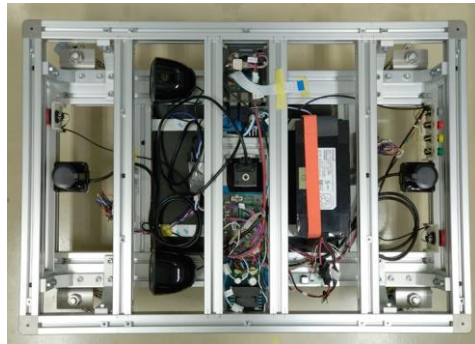
図2 試作1号機

された相関演算を開発する。

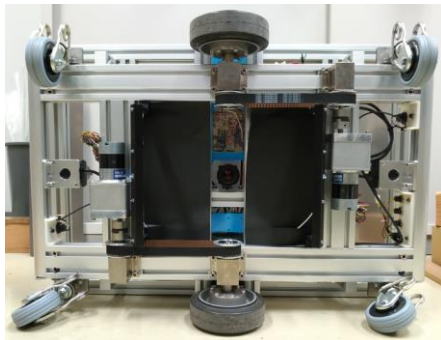
3. 研究成果および今後の課題

3.1 試作したAGVの概要

本研究で開発したAGVの試作2号機について外観および主な仕様を図3および表1にそれぞれ示す。



(a) 上面



(b) 下面

図3 試作2号機の外観

表1 試作2号機の主な仕様

寸法 (D/W/H) [m]	0.700/0.490/0.216
車体重量 [kg]	26
積載荷重 [kg]	60
駆動用モータ/出力[W]	DCブラシレス/35 ×2
バッテリー電圧[V]/容量[Wh]	Li-ion 25.2/133.6 ×2
消費電力 [W]	22.2~27.7
メインコンピュータ	Raspberry Pi 4 Model B
OS	Raspbian ver. 4.19.97
カメラ	DMK27BUR0135
レンズ	LM3NC1M
サブマイコン	SH7125
解像度 (x×y) [pixel]	512×480
視野寸法 [mm]	147×138
フレームレート [fps]	60
内部照明	白色LED, 27個 ×2列
障害物検出センサ	UST-05LN ×2
操作インターフェース用端末	AndroidタブレットPC

このAGVは内部中央に搭載したモノクロ単眼カメラにより移動面を撮影し、得られる画像列に対する演算をメインコンピュータ内で実行し、車両の速度および位置を推定する。このとき、画像フレーム間の微小移動量および微小回転量を積算して、初期化された位置を原点とする相対的な位置・姿勢を求める。また、メインコンピュータが決定した各車輪の速度指令をマイコンおよびモータドライバへ伝達し、2つの駆動輪の回転数を制御する。教示走行では、手動で車両を移動させ、位置および画像の記憶をそれぞれ定められた距離毎に行って経路を記憶する。また、再生走行では、教示時に記憶した点群画像の探索による位置修正をしながら、始点から終点まで経路点を順にたどるように車輪を駆動させる。位置推定と車両制御のタイミングはカメラの画像入力に同期しており、その周期(周波数)は、16.7 ms (60 fps)である。

3.2 内部構成図およびプログラム開発環境

AGV を構成する要素間の接続を図4に示す。試作1号機の試験運用において使用後に電源を切り忘れてバッテリーを使い切ってしまうケースがあったため、オートパワーオフ機能を持たせる方向で2号機の電源制御回路を設計した。2号機ではラッチリレーおよび自己保持回路を用いて、電源のオフ動作をサブマイコンの信号により制御する。

ソフトウェア開発にあたっては、Windows デスクトップ PC 上で動作する X サーバ VcXsrv を用いて、Wi-Fi ルータを介した接続によりメインコンピュータの GUI 実行画面を PC 上に表示させ、ターミナルソフトを用いたリモート操作によりプログラム開発を行った。また、走行中のログデータをメインコンピュータ内の SD カードへ記録するとその分だけ処理負荷が増加するため、走行中のログデータは Bluetooth 接続したノート PC へ送信して記録した。

3.3 走行制御実験

屋内の木目調の床上で走行実験をおこない、教示および再生走行の精度を調べた。まず、長さ 6.1 m の経路(図5)を片道だけ教示させた。このとき記録された教示データを図7(a)に示す。実際の経路形状とよく一致しており、精度の良い位置推定性能を持つことが分かる。次に速度制御の目標値を 0.20 m/s に設定して、記録した教示データを用いた再生走行を1往復分行った(図6)。教示経路からの平均的なズレは往路 1.2 mm、復路 1.1 mm であり、経路中に置いた三角コーンと接触することもなく、1号機より精度の良い結果であった。これは、

2号機では1号機と違って操舵角と車輪回転数との矛盾が原理的に発生しないため、経路追従のための旋回動作が滑らかになったためと考えられる。記憶画像を用いた誤差修正の成功率は往路 99.5%、復路 98.0% であり、十分実用的なレベルであった。フレーム毎の相対探索に要した時間は平均 7.5 ms であり、使用したメインコンピュータは十分な処理性能を持つことが分かった。位置修正のための絶対探索に要した時間は平均 205 ms であり、登録した 203 箇所のうち 197 箇所以上の場所での誤差修正が行えた。図7(b)に示すように往路と復路ではほぼ同じ位置を走行しており、経路追従の精度は十分実用的なレベルにあると評価できる。

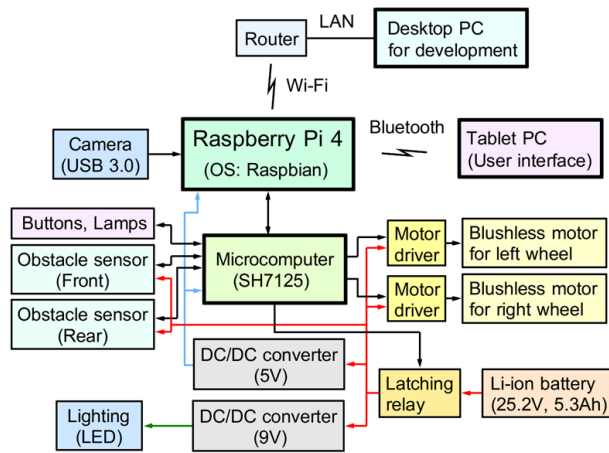


図4 試作2号機の構成要素

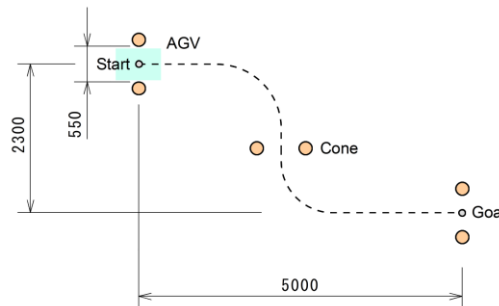
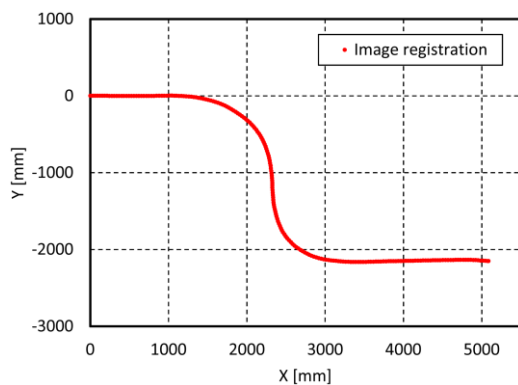


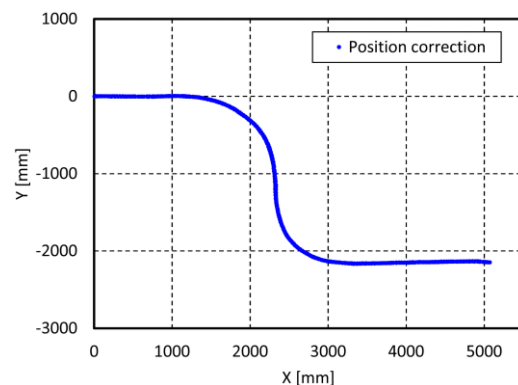
図5 教示経路



図6 再生走行の様子



(a) 教示走行における画像登録点



(b) 再生走行における位置修正点

図7 自己位置推定の結果

3.4 今後の課題

前述した改善点(1)~(3)については、本研究で開発した試作2号機によって解決された。改善点(4)の動作時間については、並列接続された2個のバッテリーを用いて推定 9.6 時間となり、十分な時間を確保

できた。改善点(5)については、タブレット PC を用いた操作インターフェースが未完成であり、今後の課題として残された。改善点(6)については、ADD 相関という独自の相関演算により、照度変化の影響を受けにくい画像探索が行えるようになった。また、照度のムラに対しても従来の演算法より優れた結果が得られている。

4. おわりに

移動面の画像を用いた位置推定法に基づいた最初の試作1号機と比較して、簡素化された車体構造、高い旋回性能、および、長時間動作可能なAGVの試作2号機を開発した。使用モータ数が6個から2個へ減少し、部品コストも従来機より抑えられた。走行制御実験の結果、教示経路に対する位置誤差が1 mm 程度の1号機よりも高い精度の再生走行を確認した。ただし、独立2輪駆動型へ変更したことで、経路追従において姿勢がふらつく挙動が見られたため、今後はより滑らかな経路追従となるよう操舵処理を改善したい。

5. 本研究の今後の計画

本申請研究によって、従来機が抱えていた課題のほとんどが解決できたが、Bluetooth による安定した通信のプログラム作成が手間取り、操作インターフェースの開発が未完成となった。今後は、まずこの操作インターフェースを完成させた後、工場での試験運用を行い、そして、実用化への検討を進める予定である。一方、単一色で塗装された床や廊下等において汚れも傷もほとんどない所では、位置推定に大きな誤差が生じるため、こうした場所でも使用できるよう光学系の改良と画像処理の強化を行い、利用場所の拡大も図りたい。

6. その他

(1) 出願特許(タイトル・出願番号・発明者・特許権者など)
とくになし。

(2) 投稿論文(タイトル・学会名等)

“移動面の自然な模様のみを参照して経路追従および速度制御を行う小型移動ロボット”，第 38 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ 2020)

(3) 本研究会の参加企業・団体名

三和電子株式会社, IKOMA ロボテック株式会社, 株式会社キャリアスルー



この報告書は、競輪の補助により作成しました。

<https://jka-cycle.jp>