

課題番号	Q18T-02
課題名（和文）	工場・倉庫内などの室内走行自律運搬ロボットのための自律型環境地図作成法の提案
課題名（英文）	Autonomous moving space map generation in an unknown environment for indoor transport robots in factories and warehouses
研究代表者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 工学部 電気電子工学科 教授 氏名 日高 浩一
共同研究者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 工学研究科 電気電子工学専攻 修士課程 氏名 野上 祥平
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 工学研究科 電気電子工学専攻 修士課程 氏名 成田 祐樹
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名

研究成果の概要（和文）

製造業での部品搬送や倉庫での商品搬送等での自律運搬ロボットで重要な要素技術である、(i) 自己位置推定技術と環境認識である環境地図作成法、(ii) 作業人や作業空間で必要な静止および移動物体の回避制御法、に対する新しい方法を提案した。提案法をシミュレーション実験と共に実機での実験両面から確認を行い、有効性を示した。

研究成果の概要（英文）

This paper proposed the novel self-position estimation algorithm with Simultaneous Localization and Mapping and obstacle avoidance algorithm based on depth stereo camera. These methods are important for moving and transport in factories and storehouses. The proposed obstacle algorithm does not use learning algorithms but only with information from a depth camera. The self-position estimation algorithm uses a Kinect. The validity of the proposed algorithms indicated via not only simulations but also experimental results.

1. 研究開始当初の背景

従来稼働している、工場や倉庫での運搬で使用されている運搬ロボットは床面の誘導ラインを使用するライントレース方式が主流となっている。しかし多品種の生産や通信販売の増大に伴い運搬場所の柔軟な変更が可能であるシステムおよび、運搬環境での回避運動が重要な技術となってきた。このような自己位置決定や回避運動技術は自動運転技術において提案されてきている。自動運転では屋外走行を想定しているため、使用されるセンサーは LiDAR、ステレオカメラおよびレーザレンジなど、複数のデータ利用を想定したシステムとなっている。一方、多くの室内運搬ロボットで使用されているセンサーはレーザレンジやカメラなどが低位置に設定されており、サンプリング周期も自動運転に対して低周期となっている。よって従来のセンサーを利用したシステム設計はコストの点から重要となる。

2. 研究の目的

研究背景により、本研究では製造業での部品搬送や倉庫での商品搬送等での自律運搬ロボットでの要素技術となる (i) 自己位置推定技術と目標位置までの経路決定のための環境地図作成法、(ii) 作業者や作業空間で必要な静止および移動物体の回避制御法に関する新しい方法を提案し、実機での実験を行うことで有効性の検討性を行う。自己位置と環境地図作成法では RGB-D カメラ（深度カメラ）が低位置に設定されている状況でのアルゴリズムを提案するとともに、地図作成では作成時間にも着目した方法を提案している。一方、障害物回避法では静止物体だけでなく移動する物体に対しても回避するアルゴリズムを提案し、実機での実験結果から有効性と今後の課題を明らかにする。

3. 研究の方法

3.1 自己位置推定方法と環境地図作成法

提案する方法では、RGB-D センサ情報により未探索領域を検出後、探索候補点の検出を行う。その後、これまでの動作により作成した地図およ

び前方のセンサー情報からのデータにより作成した3次元点群を利用して局所地図を結合し、この地図を利用して次の探索目標位置を決定する。この動作を繰り返しながら環境探索をすることで地図作成を行う。提案アルゴリズムは6プロセスで構成される[1]。

S1) 障害物回避を伴う直進運動

S2) 左右移動空間（分岐領域）の検出

S3) 重複探索領域の検出

S4) 探索領域（フロンティア領域）の検出

S5) 探索領域への移動と地図作成

3.2 静止および移動障害物回避法

提案法は物体認識をせずに、回避動作を行う方法を提案した。そのため、ディープニューラルネットワークなど、機械学習と呼ばれる学習機や学習データを使用せず RGB-D カメラのみのデータに基づいた回避法となっている。提案法はまず RGB-D カメラ画像より床面除去を行い、その後静止・移動各障害物のクラスタリングを実行する。検出した移動障害物に対してカルマンフィルタを利用して速度推定を行い、移動予測を考慮した Vector Field Histogram+(VFH+)により回避のための移動方向と位置を決定する。

4. 研究成果

4-1 自己位置推定・環境地図作成法の実験結果

実験では図1に示す Turtlebot2 にキネクトを搭載した2輪駆動型ロボットを使用し、両側に壁がある空間に対して15回の探索を実行し、検査環境の面積に対して作成した面積が90%完成した時間で提案法とFBEおよびRRTの比較を行い有効性の評価とした。

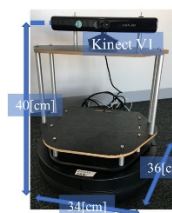


図1 実験用ロボット

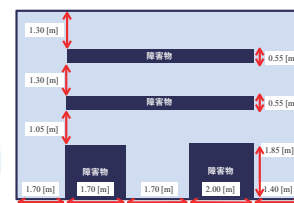


図2 実験環境

表 1 提案法と FBE での平均探索時間

	15 回実施の平均探索作成時間
提案法	208.20[s]
FBE	290.26 [s]
RRT	236.60[s]

平均時間では提案法が最短時間を得られた一方、データに対して t 検定結果では FBE に対して有意水準 1%以下となる一方で RRT に対して 0.5% となり時間のみでの有意性は得られなかった。しかし RRT の場合、作成時間のばらつきが大きくなる傾向がみられる一方で提案法は安定した時間で作成できる傾向がみられた。この結果から提案法の方が実用性の観点から有効である結果が得られたと考える。

4-1 自己位置推定・環境地図作成法の実験結果

4.2 静止および移動障害物回避法

実験では図 2 に示す 2 輪駆動型、ビーゴ、に RGB-G ステレオカメラを搭載した 2 ロボットを使用し、Turtlebot2 を移動物体に使用し、5 方向から等速直線移動で移動するロボットの回避実験を各 10 回実行した。比較法には VFH*TDT を利用した。



図 3 移動障害物回避の 実験環境



図 4 回避ロボット 図 5 障害物移動ロボット

障害物用ロボットは直進に速度 0.2m/s および 0.3m/s で移動させた。一方回避ロボットの速度は 0.1m/s から 0.3m/s の可変速度で回避動作を行った。障害物ロボットの各移動方向に対する衝突回避の実験結果を表 2 に示す。

表 2 可変型移動ロボットの回避可否結果

	速度 [m/s]	回避率結果 [%]				
		$-\pi/2$	$-\pi/4$	0	$\pi/4$	$\pi/2$
提案法	0.2	70	70	70	50	30
	0.3	80	70	40	60	50
比較法	0.2	20	10	60	0	0
	0.3	0	0	0	10	0

実験結果よりすべての方向に対して提案法の回避率は比較法より高い値を得られた。一方で移動ロボットの初期姿勢に直進および右側より進行する場合に弱点があることも明らかになった。この結果の理由として、横方向のノイズ低減がうまくできておらず結果直進走行での衝突が横からの進行より低回避となった。一方初期移動位置での違いとして、回避行動後でカメラが回転する際に映り込む壁を障害物として認識することによる誤動作と考えられる。そのため、明らかになった改善点の改良を行う予定でいる。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 9 件)

- ① 野上翔平, 日高 浩一, 学習データを用いないステレオカメラによる自動運搬ロボットの移動障害物回避法, 計測自動制御学会システム・情報部門大会, pp.369-372 (2019).
- ② 成田 裕樹, 日高 浩一, RGB-D センサを利用した自律走行ロボットのための効率的な地図作成法の提案, 電気学会 C 部門大会, pp.969-974 (2019).
- ③ Shohei Nogami, Koichi Hidaka, A Stereo Camera Based Static and Moving Obstacles Detection on Autonomous Visual Navigation of Indoor Transportation Vehicle, The 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.5421-5426 (2018)