

Title	自動着機の制御とセンシング技術に関する研究
Author(s)	澤田, 涼平
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/92962
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (澤 田 涼 平)

論文題名

自動着棧の制御とセンシング技術に関する研究

論文内容の要旨

本論文は、自動運航船の技術のうち着棧操船の自動化に焦点を当てて、着棧制御およびLiDARを用いたセンシング技術に関する研究を実施した。現在、自動運航船 (MASS: Maritime Autonomous Surface Ship) に関する技術開発が世界各国で活発に進められている。自動運航船に求められるいくつかの機能のうち、避航操船に並び重要な技術が着棧操船の自動化である。著者は、近年船員の人手不足や高齢化といった課題を念頭に、主に船員の負担低減を目的として着棧操船の自動化に関する研究を遂行した。

本論文は以下の7章で構成した。

第1章では、自動運航船の歴史を概観するとともに、本論の研究背景を述べた。自動運航船の社会実装の動きが年々強まっている状況と、本研究の新規性を示した。

第2章では、本研究に関連する先行研究について整理した。自動着棧の研究については、風外乱を扱ったものとそうでないものに分けて整理した。加えて、船舶のシステムの実装に関する事例についても整理した。LiDAR については、特に LiDAR SLAM による船舶の自己位置推定に関する研究を取り上げた。

第3章では、本論で用いた実験船、制御システム、アルゴリズム、実装した自動着棧システムについて述べた。実験船には自動着棧に必要なセンサ系が搭載され、アクチュエータ等はPLCを中心とした制御システムにより管理されている。提案した自動着棧アルゴリズムは、着棧経路計画と経路追従制御により構成される。提案手法は、実用性を考慮して、計算が軽量でリアルタイムな動作が可能なものとなっている。著者は経路追従制御としてPure pursuit法と PD 制御により構成される PPA 制御法を提案し、必要なパラメータを最小限に抑えた。さらに、低速時に棧橋周辺で顕著となる風外乱の影響を軽減するために、船体に働く風圧力を推定するフィードフォワード制御による操舵を加えた2自由度制御器である FFPPA 制御法を提案した。提案手法を自動着棧システムとして実装するにあたり、開発時の効率と安定性の観点から、PC 上で動作する AutoBerth と PLC に実装された AutoBerth PLC を開発した。

第4章では、センサ系の冗長性の向上や自動着棧システムの高度化を目的に、LiDAR を用いた自動着棧のためのセンシング技術に関する3つの研究を実施した。1つ目は、障害物を回避する経路計画を実施する手法について数値計算による結果を示した。ここでは Hybrid-state A* アルゴリズムを、LiDAR で計測した棧橋周辺の岸壁の点群に対して適用し、前後進による切り返しを伴う安全な経路が生成できることを示した。2つ目に、LiDAR SLAM による海上における点群地図作成と自己位置推定に関する研究成果を示した。LiDAR SLAM を海上で利用する際に、平面特徴量の欠如による Z 軸方向のドリフトとroll, pitch方向の点群のスキャンマッチング誤差が発生する過程を述べた。この課題を解決するために、スキャンマッチング計算において拘束条件を導入する手法を提案した。NDT および拘束条件を導入した LIO-SAM アルゴリズムを、実験船に搭載したLiDARと9軸IMUの計測値に適用し、後者のアルゴリズムにおいて高精度な地図が生成できることを示した。また、QZSSやGPS の計測値と比較を行い、提案手法が高精度な QZSS と同等の精度で自己位置推定できることを示した。3つ目の研究では、LiDAR 点群を用いた岸壁検知システムを構築した。PLC の限られた計算資源を有効に活用すべく、RANSAC アルゴリズムを採用し、使用する点群データを抑えることでリアルタイム動作が可能な岸壁検知システムを構築した。

第5章では、自動着棧の数値シミュレーションおよび、実船の実験結果を示した。PPA制御とFFPPA制御の自動着棧の結果を示した。また、アプローチ角度に関する目標角度の補正や、助走区間による経路偏差の抑制、PCとPLCの制御特性の比較を行った。

第6章では、自動着棧制御のその他の検討として、自動着棧システムの安全性についてシステムに求められる機能について述べた。また、経路追従制御の3つの手法を提案し、FFPPA制御と数値シミュレーションにより比較した。

最後に第7章では、本論文の内容を総括するとともに、今後の展望を示し、本論文の結論とした。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (澤 田 涼 平)	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主 査 教授 牧 敦生
	副 査 教授 鈴木 博善
	副 査 教授 箕浦 宗彦

論文審査の結果の要旨

本論文は、自動運航船の技術のうち着岸操船の自動化に焦点を当て、着岸制御およびLiDARを用いたセンシング技術に関する研究を実施している。現在、自動運航船(MASS: Maritime Autonomous Surface Ship)に関する技術開発が世界各国で活発に進められている。自動運航船に求められるいくつかの機能のうち、避航操船に並び重要な技術が着岸操船の自動化である。著者は、近年の船員の人手不足や高齢化といった課題を念頭に、主に船員の負担低減を目的として着岸操船の自動化に関する研究を遂行している。この結果は、自動運航技術の実現への途を拓くものとなっている。

第1章では、自動運航船の歴史を概観するとともに、本論の研究背景を述べている。自動運航技術の社会実装の動きが年々活発になっている状況と、本研究の新規性を示している。

第2章では、本研究に関連する先行研究について整理している。自動着岸の研究については、風外乱を扱ったものとしてでないものに分けて整理している。加えて、船舶のシステムの実装に関する事例についても整理している。LiDARについては、特にそれを用いた船舶の自己位置推定に関する研究を取り上げている。

第3章では、本論で用いた実験船、制御システム、アルゴリズム、実装した自動着岸システムについて述べている。実験船には自動着岸に必要なセンサ系が搭載され、アクチュエータ等はPLCを中心とした制御システムにより管理されている。提案した自動着岸アルゴリズムは、着岸経路計画と経路追従制御により構成されている。提案手法は、実用性を考慮して、計算が軽量でリアルタイムな動作が可能なものとなっている。著者は経路追従制御としてPure pursuit法とPD制御により構成されるフィードバック制御手法を提案し、必要なパラメータを最小限に抑えている。さらに、低速時に岸壁周辺で顕著となる風外乱の影響を軽減するために、船体に働く風圧力を推定するフィードフォワード制御による操舵を加えた2自由度制御器を提案している。提案手法を自動着岸システムとして実装するにあたり、開発時の効率と安定性の観点から、PC上で動作するプログラムであるAutoBerth PLCを開発している。

第4章では、センサ系の冗長性の向上や自動着岸システムの高度化を目的として、LiDARを用いた自動着岸のためのセンシング技術に関する三つの研究を実施している。一つ目は、障害物を回避する経路計画を実施する手法について数値計算による結果を示している。ここではHybrid-state A*アルゴリズムを、LiDARで計測した岸壁周辺の岸壁の点群に対して適用し、前後進による切り返しを伴う安全な経路が生成できることを示している。二つ目に、LiDAR SLAMによる海上における点群地図作成と自己位置推定に関する研究成果を示している。LiDAR SLAMを海上で利用する際に、平面特徴量の欠如による鉛直軸方向のドリフトとロール、ピッチ方向の点群のスキャンマッチング誤差が発生する過程を述べている。この課題を解決するために、スキャンマッチング計算において拘束条件を導入する手法を提案している。比較となる標準的な手法と拘束条件を導入した本手法を、実験船に搭載したLiDARと9軸IMUの計測値に適用し、後者のアルゴリズムにおいて高精度な地図が生成できることを示している。また、準天頂衛星みちびきやGPSの計測値と比較を行い、提案手法がみちびきと同等の精度で自己位置推定できることを示している。三つ目の研究では、LiDAR点群を用いた岸壁検知システムを構築している。PLCの限られた計算資源を有効に活用すべく、高速な直線検知アルゴリズムを採用し、使用する点群データ数を抑えることでリアルタイム動作が可能な岸壁検知システムを構築している。

第5章では、自動着棧の数値シミュレーションおよび、実船の実験結果を示している。ここでは、二つの制御手法による自動着棧の結果を示している。また、アプローチ角度に関する目標角度の補正や、助走区間による経路偏差の抑制、PCとPLCの制御特性の比較を行っている。

第6章では、自動着棧制御のその他の検討として、自動着棧システムの安全性について、システムに求められる機能について述べている。また、経路追従制御の三つの手法を提案し、数値シミュレーションにより比較している。

最後に第7章では、本論文の内容を総括するとともに、今後の展望を示し、本論文の結論を述べている。

以上のように、本論文は、自動運航船の実現のために必要不可欠な要素技術である自動離着棧制御について、センシングと制御の両側面からの検討を行っている。実用化までのギャップを埋めるべく、風外乱下における低速度の経路追従制御に加え、運航領域に応じた警報機能を備えた組み込みシステム化、LiDAR SLAMによるセンサ冗長化や岸壁検知等に関する幅広い課題を検討している。このように、制御とセンシングの両面についての有効な方法論を示した点で、本論文は、今後の工学の発展に対し、裨益するところ大なるものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。