



Title	Automatic Berthing Control Practically Applicable under Wind Disturbances
Author(s)	Ahmed, Yaseen Andan
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/53965">https://doi.org/10.18910/53965</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name ( Yaseen Adnan Ahmed )	
Title	Automatic Berthing Control Practically Applicable under Wind Disturbances (風外乱作用下において実用的に適用可能な自動着岸制御に関する研究)
<p>Ship handling during berthing is considered as one of the most sophisticated tasks for the ship operators to face in every voyage. The presence of environmental disturbances make the situation far complicated, especially when the ship approaches to a pier at low speed with reduced manoeuvrability. Therefore, several research studies have been done to bring the automation in ship berthing. Among them, artificial neural network (ANN) as a controller has been found to be the most successful by many researchers as it suits best to deal with any multi-input multi-output system like berthing. However, the successes of previous research studies using ANN for berthing under wind disturbances were very limited and none of those studies focussed on creating consistent teaching data, i.e. teaching data of similar pattern, which is very important to ensure the effectiveness of trained controller. Thus, the main intention of this thesis is to improve such shortcomings and to make the automatic ship berthing practically applicable under wind disturbances.</p> <p>The dissertation contains the details of the thesis that are organized into nine chapters and summarised as follows:</p> <p>In Chapter 1, several research studies done in the field of automatic ship berthing are briefly introduced to know the current status of this research. The contributions as well as shortcomings of such research studies are discussed to find out the possible ways to improve the results. The importance of creating consistent teaching data for ANN controller is presented, which is a new era of thinking to increase the robustness of the controller. To deal with the wind disturbances with reduced manoeuvrability, the control strategy used in this thesis is briefly explained.</p> <p>In Chapter 2, the manoeuvring mathematical model is discussed. In this thesis, a modified version of mathematical model based on MMG is used for describing the ship hydrodynamics in three degrees of freedoms, which are surge, sway and yaw motion. This MMG model can predict both forward and astern motion of ship for any particular rudder angle and propeller revolution. In case of forward motion, the hydrodynamic coefficients are determined by curve fitting through the captive model test results for drift angle, <math>\beta = 20^\circ</math> to <math>-20^\circ</math>. On the other hand, the reversing mathematical model is prepared by considering a larger drift angle. Then, several turning and speed tests are conducted to verify the predictability of the manoeuvring mathematical model for Esso Osaka 3-m model ship, which are quite satisfactory. This chapter also mentions about the Fujiwara wind model and the Davenport spectrum to create the gust wind disturbances.</p> <p>In Chapter 3, the creation of consistent teaching data by utilising nonlinear programming (NLP) for minimum time course changing manoeuvre is discussed. Then, using the repeated optimisation technique, a new concept named 'virtual window' is introduced. The 'virtual window' in this thesis denotes a safety window that ensures a ship with any particular heading, passing through its desired position to reach a given reference line well ahead by taking the calculated optimal rudder angle. Then, the ship follows that line to go for further decent according to the speed response equation and makes successful berthing. The importance of considering the wind effect during low speed running is discussed elaborately and as a feedback controller, PID is proposed to use to keep the track along with the reference line after course changing. By combining such course changing and track keeping trajectories, a set of consistent teaching is created. Using such consistent teaching data, training of two separate multi-layered feed-forward neural networks are mentioned for rudder and propeller revolution outputs,</p>	

respectively considering Lavenberg-Marquardt algorithm as training function and mean squared error (MSE) as an evaluation function for each case.

In Chapter 4, several simulation results are included for the ship with particular initial heading starting from its desired point on virtual window as suggested by the optimal method. Different gusts for same average velocity as well as gusts from eight different directions at  $45^\circ$  interval are investigated to judge the effectiveness of the proposed controller. A small modification in the rudder restriction for the proposed PID controller is mentioned for track keeping under severe wind condition. Later on, to judge the robustness of the controller, arbitrarily selected points are also tested for possible berthing results. Monte Carlo simulations are performed to generate the arbitrary initial conditions and the frequency distribution of the success indexes are plotted to know the success rate of the proposed controller under gust wind disturbances.

In Chapter 5, the implementation of the trained networks in the free running experiment system is discussed. Then, the ship berthing experiments are performed for desired starting point and the results are gathered into some groups depending on the similarities in controller's behaviour or resulting trajectory pattern. Several experiments done for the arbitrary starting points within the constructed window are also included in this chapter. The results show the controller works effectively up to wind 1.5 m/s for Esso Osaka model ship, which is 15m/s for full-scale ship considering the same Froude number. This 15 m/s is also considered as maximum limit to get the permission for berthing under windy condition in most ports of Japan.

In Chapter 6, the possible causes of network's behaviour during such experiments are investigated considering the effect of initial conditions as well as wind disturbances. This type of analysis is very important to understand the range of applicability of the ANN controller while facing any unknown and unexpected situation. Similar approach for analysing the network's behaviour can demonstrate the inherent knowledge of trained ANN in any case. By this way, the user can have a fair idea of the network's behaviour well before execution.

In Chapter 7, the crabbing motion under wind disturbances is discussed. In this thesis, the final goal point of the proposed controller is set at a distance 1.5 times of ship length from actual pier to ensure safety. Therefore, the PD controllers for automatic tugs assistance or side thrusters are mentioned for the final alignment of the ship with the actual pier. By combining the ANN-PID controller to guide the ship up to a temporary berth and automated thrusters to finally aligning the ship with actual pier, several simulations are done for maximum allowable wind disturbances from different directions. The controllers are also tested for different experiments' end conditions. However, the effectiveness of the combined controller is judged by simulation only. Experiments need to be conducted as a future work of this thesis by using the air fan on board.

In Chapter 8, a waypoint controller based on fuzzy reasoning is discussed to guide the ship from its current state to a set point on virtual window or nearby it. In the presence of wind disturbances, to do it manually is extremely difficult. Therefore, in this thesis, the similar fuzzy rule for collision avoidance is used, but instead of collision risk, the nearness to the waypoint is reasoned. Then, the proposed ANN-PID controller is activated to guide the ship for berthing purpose. Several experiments are done to judge the compatibility of these two controllers and the results are included in this chapter.

In Chapter 9, all concluding remarks are mentioned while using the proposed controllers for automatic ship berthing under wind disturbances.

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( Yaseen Adnan Ahmed )			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	長谷川和彦
	副 査	准教授	梅田 直哉
	副 査	教 授	加藤 直三

**論文審査の結果の要旨**

船舶の着栈は船舶の運航の中で最も複雑な作業のひとつである。さらに、低速時に操縦性が低下し外乱の影響を受けやすいことがそれをさらに困難にしている。この作業を自動化しようとする試みはすでにいくつか行われている。その中でもとりわけ、ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network、以下 ANN) を用いた研究が多入力多出力としての着栈制御に多く用いられ、成果が得られている。しかしながら、十分な成果を得るための教師データをどうやって与えるか、また、適用できる外乱 (ここでは風) の大きさが限られているなどの問題点が指摘されている。本論文は、このふたつの問題に対してその解決方法を見いだすことを目的としている。

第 1 章では、この分野に関する従来の研究の総括、および、本論で取り扱う整合性のある教師データの作成と風の外乱および低速時の操縦性の低下に対応するための制御則について議論している。

第 2 章では、本論で使用するいくつかの基礎的モデルについて述べている。まずは、着栈制御のシミュレーションのために使用する船舶操縦運動の数学モデルについては、前後進運動にも使用できるように一部、改造したいわゆる MMG モデル (日本で開発された船舶操縦運動の標準モデル) について述べている。そして、いくつかの運動のシミュレーションにおいて、実際に使用した Esso Osaka の 3 メートル模型船の実験結果とよく一致していることを示している。さらに、船舶に作用する風圧力およびモーメントを推定する藤原モデル、風の息の周波数分布を表す Davenport スペクトラムについても述べている。

第 3 章では、非線形計画法を用いた最短時間変針制御をもとにした整合性のある教師データの作成方法について述べている。まずは、着栈運動を変針運動と減速運動に分け、変針運動に対して最短時間変針制御をもとにした仮想窓という新しい概念を示している。着栈点の前方の水面にある連続した仮想の窓が存在し、船舶がその窓に想定された船首方位範囲で到達すると、あとは ANN が自動的に減速を行うスタート地点に誘導するという概念である。そのあとは、保針が難しい減速運動を比例微分積分 (PID) 制御と、プロペラ逆転中は一時期プロペラを正転させることにより舵による大きな旋回力を与えるブースティングと言われる制御を組み合わせる仮の着栈点へと導く手法について詳細に述べている。ここで、仮の着栈点とは真の着栈点 (位置と方位の決まった栈橋) と平行で船長の 1.5 倍ほど離れた点を言う。

第 4 章では、数値シミュレーションにより、上述のアルゴリズムがうまく機能していることを教師データの与えられた点、与えられていない点を含め、いくつかの典型的なスタート地点での結果を示すとともに、モンテカルロシミュレーションによりあらゆる地点、船首方位、そして、(ここでは平均風速を一定にして、風向、および息を任意にした) 風外乱下でのシミュレーションを行い、ほとんどのケースにおいて、うまく制御されていることを示している。

第 5 章では、自由航走実験により、本論で提案する自動着栈システムの有効性を示している。その結果、模型船レベルでは風速毎秒 1.5m、実船換算で毎秒 15m までの風速において、本論での提案システムが機能することを確認している、ほとんどの港湾の入出港の制限風速をカバーしている。

第 6 章では、第 5 章の実験において、初期状態が同じであるにもかかわらず、初期舵角が違うケースがあることに鑑み、その初期舵角がどういう条件に左右されるかを分析するため、再びシミュレーションにおいて、初期位置、船

首方位の他、初期横流れ速度、初期旋回角速度を与えて、ANN の指示する舵角がどう変化するかを調査している。その結果、ANN が、これらの初期条件に対応して適切に舵角の指示を与えていることを示している。こうした方法を他のシステムにおいても取ることによって、一般にその制御性能やその限界を定性的に示すことが難しいとされる ANN を用いた制御システムの定性的評価を行うことができることを示している。

第 7 章では、以上の ANN による制御で仮想の着栈点に達した船舶をさらに、実際の着栈点に接岸させるまでの制御をタグボートあるいはサイドスラスターを用いて自動的に行う試みをシミュレーションによって示している。さらに、第 5 章で行った実験結果の仮着想栈点での位置や船首方位、船速、横流れ速度、旋回角速度を初期条件として同様の制御により、安全に着栈することができることを示している。

第 8 章では、第 5 章の実験において、ANN の着栈実験を実施するに当たり、外乱下で、模型船をその初期位置まで手動で誘導するのはきわめて困難であったことから、他の研究で用いられている Fuzzy 制御による設定航路航行 (waypoint navigation) を用いて、任意の地点からその初期位置まで誘導する制御方法を適用し、実際に実験を行い、手動で行うよりスムーズに初期位置に誘導できることを示している。また、その結果、ANN による着栈の実験結果もさらにスムーズになっていることを示していて、この Fuzzy 制御による設定航路航行が有効であることを初めて模型実験にて示している。

第 9 章では、本論文の結論を述べている。

以上のように、本論文は操船者にとってもっとも難しい操船の局面のひとつである着栈に関して、実際の港湾の入出港制限以内の風速条件下で、シミュレーションのみならず模型実験において、その自動制御を実用的に可能なレベルにまで検討しており、今後の自動化への道筋、あるいは、操船者へのガイダンスとしても非常に有効である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。