

自動運航船のモデルベース開発のためのシミュレーション基盤

Simulation Platform for Model Based Development of Autonomous Ship

○正 角田 領^{*1}, 正 安藤 英幸^{*1}

松井 忠宗^{*1}, 山中 遼^{*2}, 学 中島 拓也^{*3}

Ryo KAKUTA^{*1}, Hideyuki ANDO^{*1},

Tadanori MATSUI^{*1}, Ryo YAMANAKA^{*2} and Takuya NAKASHIMA^{*3}

^{*1} MTI Monohakobi Technology Institute

^{*2} 日本郵船 Nippon Yusen

^{*3} 東京大学 The University of Tokyo

This study proposes an architecture of simulation platform for model-based development of autonomous ships. The simulation platform consists of functional modules of the autonomous navigation system such as situational awareness, action planning and control, physical models such as hulls and actuators for calculating ship motions, and sensor models, etc. It enables end-to-end virtual verification of autonomous ships by integrating with virtual 3D environments that represent obstacles and navigational environments. Some specific use cases of this simulation platform are discussed to show its possible usefulness in autonomous ship development and verification.

Key Words : Simulation platform, Model Based Development, Autonomous Ship

1. 結 言

海上輸送の安全性を維持・向上させていくことは海事業界が取り組むべき大きな課題の1つである。最新のレポートでも海難事故の約75%にヒューマンエラーが関わっていると推測されており⁽¹⁾、各国にて自動運航船の開発に向けたプロジェクトが進められている。また、特に内航海運においては、船員不足・労働力不足の解消に繋がるソリューションとしての期待も大きくなっている。

自動運航船及び自動運航船を構成するシステムの設計・開発・検証においては、様々な運航状況、及び各種機器やシステムとの相互作用を踏まえ、システム全体の実運用時の挙動を把握する必要がある。また、自動運航船の社会実装に向けては、安全性の担保が重要であり、船が遭遇する様々な気象海象条件、他船との見合い関係、機器の故障による非常事態など様々な状況を想定したシステム全体の挙動確認が求められる。このようなシステムの設計・開発・検証を効率的に行うためには、それを支援するためのシミュレーション基盤が重要と考えられる。2022年10月1日に東京大学に設置された「海事デジタルエンジニアリング」社会連携講座（通称MODE：Maritime and Ocean Digital Engineering）では、そのようなシミュレーション基盤を構築することが、1つの重要な目的となっており、著者らも本講座に参加している。

本稿ではMODEにおいて検討された、自動運航船開発のためのシミュレーション基盤のアーキテクチャについて紹介する。また、シミュレーション基盤のユースケース検討を通じて得られた、今後の基盤構築への期待と課題について述べる。

2. シミュレーション基盤のアーキテクチャ

2.1 提案するアーキテクチャ

MODEでこれから開発するシミュレーション基盤のアーキテクチャを図1に示す。提案するアーキテクチャは自動運航船機能モデル、物理モデル、気象・海象、仮想環境、通信・遠隔監視、シナリオ管理等複数のモジュールから構成される。本章ではそれぞれのモジュールの内容について述べる。

2・2 自動運航船機能モデル

本アーキテクチャでは、自動運航船の実現に必要な機能を Detection（物体検知）、Situational Awareness（状況認識）、Motion Planning（行動計画）、Motion Control（制御）という4つに分ける。Detectionは、船用レーダーのような従来船舶にも搭載されているセンサに加え、LiDAR、可視光カメラ、赤外線カメラなど自動運航船への搭載が想定される外界センサのモデルで構成される。Situational Awarenessは、これらセンサからの情報を統合・加工する機能のモデルである。この情報は、Motion Planningモデルに渡される。ここでは、避航操船や自動着積を行うための計画が立案される。この計画に従って、Motion Controlモデルは、船体を制御するために必要な舵角、主機回転数等の指示を生成し、後述する物理モデルのアクチュエータに指示値を伝える。

2・3 物理モデル

シミュレーション基盤には、船体の挙動を表現するための物理モデルが必要となる。舵やプロペラ等のアクチュエータモデルは、Motion Controlモデルからの指示に対し、一定の遅れをもって追従する。アクチュエータモデルからの力は、船体モデルへの入力となり、針路や速力に変化を与える。船体の操縦運動を表現するモデルとしては、日本で提案されたMMGモデル⁽²⁾や、Fossenのモデル⁽³⁾等がよく知られている。特にMMGモデルには、一連の縮尺模型を利用した水槽試験のデータから、操縦流体力微係数と呼ばれる船体に働く流体力を推定するためのパラメータを求める方法が標準化されているという利点がある。しかしながら、船舶が実海域にて遭遇する風、波、潮流等の影響、水深や岸壁等の航行環境の影響を表現する方法については、引き続き大学等で研究が続けられている領域であり、MODEでは最新の知見も踏まえながら適切なモデルを利用していく。

2・4 気象・海象

気象・海象のモデリングは船舶の実海域での運航をシミュレーションするにあたり、非常に重要となる。特に離着積のような船舶の低速での操縦運動は、風・波といった外乱の影響を強く受けるため、制御系のテストでは、その影響を精度よく計算することが必要となる。例えば波浪については、修正ピアソン・モスコヴィッツ型⁽⁴⁾など複数の周波数スペクトル形状がよく知られており、これらスペクトルに基づいて時系列の不規則波を、規則波の重ね合わせとして生成するのが一般的な波浪のモデル化の手法となっており、MODEでもこのような手法を採用する。

2・5 仮想環境

仮想環境のモデルは、自動運航船機能に含まれるセンサモデルへの入力として必要となる。オープンソースの自動運転開発用シミュレータであるCARLA⁽⁵⁾では、ゲームエンジン上で交通環境を構築し、LiDARやカメラ等のセンサシミュレーションも実行可能となっている。その他、自動運転用には同様のシミュレーション環境が多数提案されている⁽⁶⁾。自動運航船開発でのゲームエンジン利用の事例は少ないが、ノルウェー科学技術大学のグループがAutoferry Gemini⁽⁷⁾というリアルタイムセンサシミュレーションのためのプラットフォームを開発している。MODEにおいても、センサシミュレーションにゲームエンジンやロボティクスシミュレータ等の活用を検討していく。

2・6 通信・遠隔監視

自動運航船の運航においては、陸上から航海計画を指示する、航行状況や機関状態を監視するといった遠隔監視機能とのインタラクションについても検討を行う必要がある。陸上では、自動運航船から送信される運航データを、様々な画面を使って監視することが想定される。また、送信されるデータの量や種類は、船に搭載されているセンサや機器によっても異なる。MODEでは、シミュレーション基盤の遠隔監視機能のテストへの利用を見据え、外界センサ以外の各種センサのモデル化も行う。機関状態の遠隔監視まで考える場合は、機関プラントについてもモデル化した上で、温度計や圧力計といったセンサデータを出力できるようにする。

2・7 シナリオ管理・評価

このようなシミュレーション基盤を利用して、自動運航船の安全性評価を実施していく上でテストシナリオを管理・評価する機能が求められる。自動避航操船機能の評価だけを考えても、他船との見合い関係・隻数、気象状況など膨大な数のシナリオを効率的に評価・検証していく必要がある。そのため、シナリオの自動実行と評価、苦手なシナリオの検出といった機能についても検討を行う予定である。

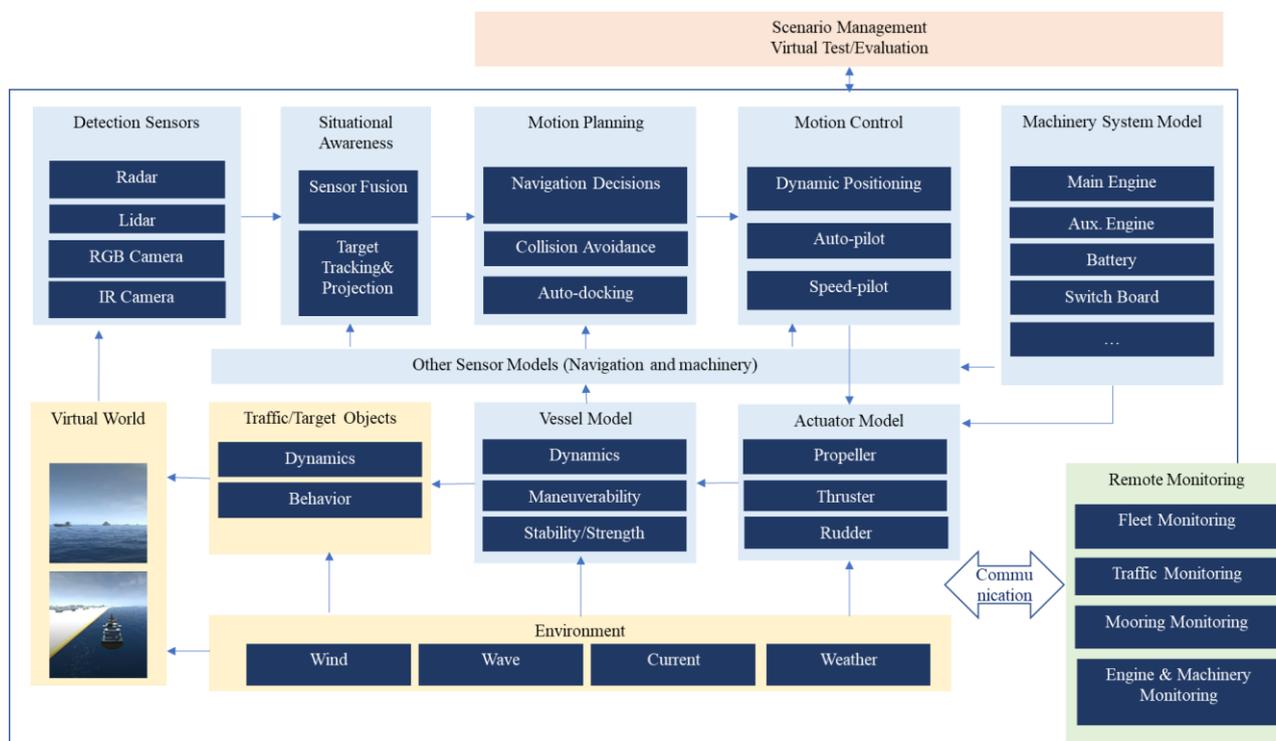


Figure 1 Architecture of simulation platform for autonomous ship development

3. シミュレーション基盤のユースケース

3.1 シミュレーション基盤のユースケース

本章ではこのようなシミュレーション基盤のユースケースについて、MODE 内で検討した結果について述べる。MODE には海運会社、造船所、航海計器・船用機器メーカー、船級協会という自動運航船開発に中心的に関わるプレーヤーが参加しており、それぞれの視点から期待されるシミュレーション基盤の活用方法について検討を実施した。ここでは検討を通じて明らかとなった複数の期待されるユースケースのうち2つについて、その内容と実現のための課題について述べる。

3.2 ユースケース1：自動運航船に搭載されるセンサシステムの検証

自動運航船に搭載されるセンサシステムの検証への活用は、期待されるユースケースの1つである。自動運航船には、前述の通り、他船や障害物を画像認識により検出するカメラ、岸壁との距離を正確に計測するためのLiDAR等の従来船舶には通常搭載されない新しいセンサシステムの搭載が想定される。これらセンサからの情報は、船用レーダー等の従来から搭載されている既存のセンサ情報と統合され、状況認識の自動化に利用される。実海域において船舶が遭遇する海象状況、天候は様々であり、またそのような外乱に対する船舶の動揺応答は船型・サイズによって大きく変化し、かつ船体の動揺がセンサに与える影響はセンサの設置位置によっても変わる。これら全ての状況におけるセンサシステムの性能を、実船に搭載して網羅的に検証することは不可能であり、シミュレーション基盤を活用したバーチャルな環境を利用した検証が期待される。

多くのセンサは、既に自動運転のシミュレーションでもモデル化の実績があるが、船用レーダー等のセンサモデルの仮想環境下でのシミュレーションについては、十分な研究が行われていない。特に必要なセンサについては、MODE 独自で開発にチャレンジしていく必要がある。

3・3 ユースケース 2：制御システムの検証

船の操縦性能は船型・サイズ・载荷状態によって大きく異なる。水深が浅い場合や岸壁付近では、浅水影響、岸壁影響による操縦性能の変化もよく知られている。特に、通常航行中の自動避航操船だけでなく離着岸までを自動化のスコップとする場合、低速航行下での運動制御が必要となる。低速航行中の船舶は外乱の影響を受けやすいだけでなく、舵効きも大幅に悪化し、通常航行中に比べて制御が極めて難しくなる。このような観点から、実船搭載前にシミュレーション基盤を活用して制御システムの検証を実施できれば、自動運航船開発の効率化に大きなメリットをもたらすと考えられる。

船舶には様々な種類があると同時に、備えるアクチュエータについても表 1 に示すような多様なタイプがある。このユースケースの実現には、一定数の船舶の操縦運動モデルをライブラリとして準備する必要があり、こうしたライブラリをどのように効率的に構築していくかが課題となる。

Table 1 Various types of actuator

Actuator	Available types
Propeller	Fixed pitch propeller, Controllable pitch propeller
Rudder	Normal type, Flap rudder, Shilling rudder, Vec-Twin rudder, Gate rudder
Side thruster	Bow thruster, stern thruster

5. 結 語

本稿では MODE にて今後構築する自動運航船開発のためのシミュレーション基盤のアーキテクチャ、ユースケースと課題について述べた。ユースケースを検討した結果、本アーキテクチャに基づいたシミュレーション基盤の構築により、様々な側面から自動運航船開発を支援できることが分かった。MODE は 5 年間の活動が予定されているが、実際の自動運航船開発への適用を目指し、本シミュレーション基盤の構築を早急に進めていきたい。

文 献

- (1) Allianz Global Corporate and Speciality, 2022. Safety and shipping review 2022. An annual review of trends and developments in shipping losses and safety.
- (2) Yasukawa, H., Yoshimura, Y. "Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions." Journal of Marine Science and Technology 20 (2015), pp. 37-52.
- (3) Fossen, Thor Inge and Øyvind Notland Smogeli. "Nonlinear Time-Domain Strip Theory Formulation for Low-Speed Manoeuvring and Station-Keeping." Modeling Identification and Control 25 (2004), pp.201-221.
- (4) Pierson, W. J. Jr. and Moskowitz, L. "A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S. A. Kitaigoroskii", Journal of Geophysical Research, Vol. 69, (1964), pp.5181-5190.
- (5) A. Dosovitskiy, G. Ros, F. Codevilla, A. Lopez, and V. Koltun, "CARLA: An Open Urban Driving Simulator.", Proceedings of the 1st Annual Conference on Robot Learning, (2017), pp.1-16.
- (6) Rosique, F., Navarro, P.J., Fernández, C., Padilla, A. "A Systematic Review of Perception System and Simulators for Autonomous Vehicles Research.", Sensors 2019, (2019), 648.
- (7) Vasstein, Kjetil, Edmund Førland Brekke, Rudolf Mester and Eric Eide. "Autoferry Gemini: a real-time simulation platform for electromagnetic radiation sensors on autonomous ships." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 929 (2020)