

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：12614
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2012～2016
課題番号：24560984
研究課題名(和文) 操船者への影響を考慮した自動着岸システムの研究開発

研究課題名(英文) Development of automatic pier docking system considers influence of ship's officer

研究代表者
岡崎 忠胤(okazaki, tadatsugi)
東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：70392686

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：操船者に不安を与えない自動着岸制御システムの開発を目指し、自動着岸制御実験を行い操船者の精神的負荷変動を計測した。なお、自動着岸の実船実験を安全に実施するために、拡張現実(AR)を用いて仮想の岸橋を海上に表示するシステムを合わせて開発し実験を行った。実験結果を基に着岸位置までの残り距離に応じた適切な船速を設定し、最適着岸制御解を導出し、自動着岸制御システムを完成させた。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to develop an automatic pier docking system which did not allow a pilot to feel stress during berthing maneuvering, the automatic pier docking experiment was done and mariner's mental workload was measured. The system which displayed a virtual pier on the sea was developed by using augmented reality technique to execute the actual ship experiment of an automatic pier docking safely. Based on the experimental result, appropriate vessel speed corresponding to the remainder distance to the pier docking position was set to the problem, then optimal pier docking control solution was derived.

研究分野：システム工学

キーワード：自動着岸 精神的負荷変動 拡張現実

1. 研究開始当初の背景

当該研究者は、船舶を自動制御で着岸させることを目指し、船舶の操縦運動モデルから数値的に最短時間制御解を導出する研究を行い、数値的に導出した最短時間着岸操船解の有効性を実船実験にて検証してきた。しかし実船実験は、安全上の理由より障害物の無い広い海域上に着岸位置を緯度と経度で設定し、その位置への誘導停船制御実験であった。そのため、最短時間着岸制御が操船者に対し、どのようなストレスを与えるかを検討することはできなかった。しかし、近年研究が盛んに行われている拡張現実(AR)のシステムを用いれば、ヘッドマウントディスプレイを装着した操船者に、実海域上に設定した仮想の岸橋を視認させることができるとの着想に至った。

一方、当該研究者が所属する東京海洋大学の水先人養成教育においては、ベテランの水先人および水先人修業生が操船シミュレーターで着岸操船訓練を行っており、多くの着岸操船データが蓄積されている。そこで当該研究者は、着岸シミュレーション時の船体運動の時系列データより、訓練結果を客観的に評価する指標の導出を試みた。評価ポイントは、着岸位置までの縦距離に応じた船速、船首方位角、岸壁との横距離とし、インストラクター、ハーバーパイロット、および船長経験者の操船結果を分析した。その結果、評価ポイントの値は、操船者のスキルに応じて一定のパターンがあることが明らかとなった。そして、この評価ポイントの値を統計的に処理すると、操船スキルに応じた着岸操船時の安全マージンを導出できることが分かった。そこで、この安全マージンの値を最短時間着岸操船問題へ拘束条件として組み込めば、操船者のスキルに応じた最適着岸制御解を得られるとの着想に至った。

この2つの着想を融合することにより、実海域において操船者の感覚に適応した自動着岸システムの研究開発が可能になると考えた。

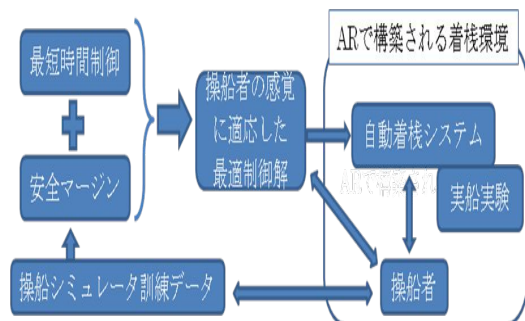


Fig.1 操船者の感覚に適応した自動着岸システムの研究開発環境の概略

2. 研究の目的

本研究では、操船者が安心できる自動着岸制御システムの研究開発を目指し、着岸シミュレーション訓練のデータから操船者の感覚に適応した操船上の安全マージンを導出し、その安全マージンを満たす最適着岸制御解を導出し、その最適制御解を適用した自動着岸制御システムを研究開発する。そして、自動着岸制御システムの研究開発においては、操船者への影響を解析しシステムを改善するために、東京海洋大学の練習船に拡張現実(AR)を用いた着岸操船実験システムを構築する。そこで具体的に以下の項目を、研究目的に設定する。

(1) 操船者の感覚に適応した最適着岸制御解導出

当該研究者は、従来の研究で船舶の操縦運動モデルから数値的に最短時間制御解を導出する計算アルゴリズムの研究開発を行ってきた。そこで本研究では、着岸シミュレーション訓練のデータから操船者の感覚に適応した操船上の安全マージンを導出し、その安全マージンを最短時間着岸操船問題へ拘束条件として組み込み最適着岸制御解を導出することを目的とする。しかし従来の計算アルゴリズムでは、多くの拘束条件を組み込むと数値解の導出が困難となるので、多くの安全マージンを拘束条件として組み込んでも、数値解を導出できる計算アルゴリズムの研究開発を行う。

(2) 最適着岸制御解を追従する制御アルゴリズム開発

数値的に求める最適着岸制御解の導出には、多くの計算時間を要するために、最適着岸制御解をオンラインで利用できない。そこで、最適着岸制御解より導出される状態変数を制御目標として追従する制御アルゴリズムを開発することを目的とする。ただし、実船での制御実験では、モデル誤差および変動する外乱があるため、事前に外乱を考慮した最適着岸制御解を導出してにおいても、数値解を追従制御するには、多くの困難が予想される。そこで、外乱に対応可能な制御アルゴリズムの開発に焦点を当て研究を行う。

(3) 拡張現実(AR)を用いた着岸操船実験システム開発

操船者がウェアラブルカメラとヘッドマウントディスプレイ(HMD)を装備した状態で、船橋から海上を目視したとき、ARを用いて海上の映像上に岸橋を3Dモデルで表示する着岸操船実験システムを研究開発する。HMDを利用することで、3Dオブジェクトまでの距離感、操船者が視線を動かしたときの違和感等の問題が予想される。そこで被験者応答の研究を行いながらシステムを調整し有効なシステム構築を目指す。

(4) 開発した制御システムの訓練者への影響検討

AR を用いた着棧操船実験システムを利用して、自動着棧制御システムの実船実験を行い、その時の操船者の緊張状態の計測およびアンケート調査を行い、自動着棧制御システムの操船者への影響を明らかにする。そして、実験結果をフィードバックしたシステム開発を行うことで、操船者の感覚に適応した自動着棧制御システムの開発を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、操船者の感覚に適応した最適着棧制御解を導出し、その最適着棧制御解を追従する制御アルゴリズムを開発する。また、開発した制御システムでの着棧制御実験を安全に行うために、AR を用いた実船実験システムを開発する。そして、実船実験での操船者への影響をフィードバックしながら自動着棧制御システムの研究開発を進める。具体的には以下の項目の研究を実施する。

(1) 操船者の感覚に適応した最適着棧制御解の導出方法の研究

着棧シミュレーション訓練のデータから操船者の感覚に適応した操船上の安全マージンを抽出する。従来の研究で開発した最短時間着棧制御解を導出する計算アルゴリズムをベースに、多くの安全マージンを拘束条件として組み込んで数値解を導出できる計算アルゴリズムの研究開発を行う。また、風外乱のある場合、最適着棧制御解の導出が困難になるので、同問題の解決にも注力する。

(2) 最適着棧制御解を追従する制御アルゴリズムの研究

最適着棧制御解より導出される状態変数を制御目標として追従する制御アルゴリズムを開発し、実船実験を行いながらシステムの改善を行う。また、風外乱下での制御精度向上に力を入れる。そして、制御システムの操船者への影響評価の結果を基に、操船者が安心できる自動着棧制御システムの開発研究を行う。

(3) 拡張現実を用いた着棧操船実験システムの研究

ARToolKit を用いて、カメラ画像内のマーカー位置に棧橋の 3D モデルを表示させるアプリケーションの研究開発をする。そして、AR アプリケーションをベースに、実海域上の任意位置に棧橋の 3D モデルを表示させるシステムを開発する。なお、実船にて被験者実験を繰り返し被験者からの情報をフィードバックしたシステム開発を行う。さらに開発したシステムの有効性を確認しながら、システムの最終調整を行う。

(4) 開発した制御システムの操船者への影

響評価

AR を用いた着棧操船実験システムを用いて自動着棧制御システムの実船実験を行い、その時の操船者の緊張状態の計測およびアンケート調査を行い、開発システムの操船者への影響評価を行う。そして実験結果を反映してシステムの改善を行い、さらに実験を行うことで開発したシステムの有効性を検証する。

4. 研究成果

(1) 操船者の感覚に適応した最適着棧制御解の導出方法の研究において、水先人が操船シミュレータで着棧操船を行ったデータから、操船者の感覚に適応した船速、船首方位、岸壁までの横距離を分析し、操船上の安全マージンを抽出した。水先人の操船データを解析している中で、水先人は操船中に操船装置が故障（例えばサイドスラスターの故障）しても、その時点から安全に船舶を操船できるように操船計画を立案して操船している傾向があることが明らかとなった。そこで、特に操船装置の故障の可能性が高い高経年船の操船装置のアベイラビリティを計算するプログラムを開発し、その確率が無視できないものであることと示した。そこで、操船装置の故障を考慮し、船舶が着棧位置へアプローチする速度の検討を行った。

(2) 一方で、従来の研究で開発した最短時間着棧制御解を導出する計算アルゴリズムをベースに、多くの安全マージンを拘束条件として組み込んで数値解を導出できる計算アルゴリズムの研究開発を行った。簡単な幾何的な安全マージンを設定する計算アルゴリズムを開発したが、数値解の収束性能が不十分であったため、船舶の操縦運動モデルの簡易化取り組んだ。そして、この研究の中で水先人が乗船時に入手するパイロットカードに記載されている船舶の情報から、船舶の操縦運動モデルを推定する手法を開発した。モデルを簡易化することにより、数値計算の収束性能を向上させることに成功した。また水先人が入手可能なパイロットカードから船舶の操縦運動モデルが推定可能となったことは、本研究の汎用性向上の面から考えて意義のある成果であった。

また、最適制御解を実船へ適用する制御アルゴリズムの開発においては、最適制御解を用いたフィードフォワード制御とフィードバック制御を組み合わせることで、風速 8m/s までの外乱下で自動着棧制御実験に成功するに至った。

(3) 自動着棧制御実験を安全に実施するために、拡張現実を用い 3D モデルで作成した棧橋を海上に表示するシステムを ARToolKit を用いて作成した。同システムでは、船首に AR マーカーを設置することで、船橋から海上を見るときに AR マーカーを認識し、そのマ

ーカーを原点として任意の位置に仮想棧橋を表示させる方法を採用した。船首にマーカーを設置したことにより、複数の操船者が同時に仮想棧橋を視認できるシステムとなっている。またこの研究成果を元に、投錨操船や航路を拡張現実で表示するシステム開発にも成功している。さらに、最適着棧操船方法のガイドラインを拡張現実を用いて表示するシステムの開発も行い、実船実験により同システムの有効性も確認した。

(4) 自動着棧システムの操船者への影響評価を調べるために、拡張現実を用いた仮想棧橋を表示する実験システムにて、自動着棧実験を行った。Fig.2 に実験時の仮想棧橋の画像を示した。実験においては、操船者の精神的負荷変動を推定するために、操船者の心拍、鼻部皮膚温、脳波を計測した。Fig.3 は、実船実験の操船者の鼻部皮膚温度の変化を表すグラフである。実験の後半で棧橋に近づく船速が早くストレスを感じ、鼻部皮膚温度が低下していることが読み取れる。この実船実験を繰り返し操船者へのストレスを軽減するために着棧位置への残り距離に応じた船速設定をすることが有効であるとの結論を得た。



Fig.2 AR を用いた仮想棧橋表示システムの画像

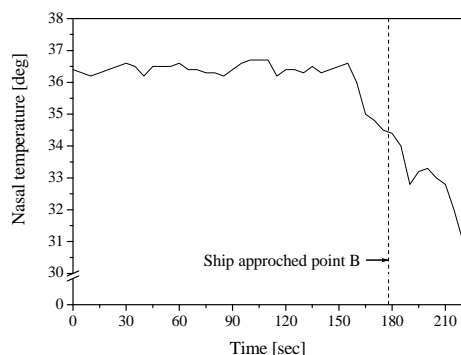


Fig.3 自動着棧時の操船者の鼻部皮膚温度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

岡崎忠胤, 佐野なぎさ, 佐々木和也, 自動着棧制御システムの開発, IEEE SMC2016 論文集, 査読有り, 2016, pp.904-909

DOI: 10.1109/SMC.2016.7844356

岡崎忠胤, 高関怜, 拡張現実を用いた実船重畳型操船シミュレータ, インテリジェントオートメーションとソフトコンピューティング, 査読有り, Vol.23, Issue1, 2016, pp.167-174

DOI: 10.1080/10798587.2016.1142709

高関怜, 長嶋蘭芳, 鹿島英之, 岡崎忠胤, 拡張現実を用いた投錨操船支援システム, IECTET2015 論文集, 査読有り, 2015, pp.123-127

DOI: 10.1109/ICETET.2015.22

岡崎忠胤, 佐々木和也, 津波襲来時の緊急離棧支援システム, IEEE SMC2015 論文集, 査読有り, 2015, pp.1255-1260

DOI: 10.1109/SMC.2015.224

高関怜, 岡崎忠胤, 拡張現実を用いた操船シミュレータの評価に関する研究, IEEE SMC2015 論文集, 査読有り, 2015, pp.1267-1272

DOI: 10.1109/SMC.2015.226

岡崎忠胤, 落合弘希, 鹿島英之, 岩切貴晃, 拡張現実を用いた操船シミュレータの開発, WAC2014 論文集, 査読有り, 2014, pp.340 - 345

DOI: 10.1109/WAC.2014.6935933

岡崎忠胤, チュンク・アルデミラ, 経年船の推進器システムのアベイラビリティ, IEEE SMC2013 論文集, 査読有り, 2013, pp.3333-3338

DOI: 10.1109/SMC.2013.568

岡崎忠胤, 重田早春, 加藤俊樹, 輻輳海域横切り訓練時の操船支援システム, ICETET2012 論文集, 査読有り, 2012, pp.253-258

DOI: 10.1109/ICETET.2012.44

岡崎忠胤, 大谷雅人, 輻輳海域航行時の操船者の状況認識, IEEE SMC2012 論文集, 2012, pp.1525-1530

DOI: 10.1109/ICSMC.2012.6377952

岡崎忠胤, 石渡淳, 着棧操船プラン作成のための操船シミュレータ, WAC2012 論文集, 査読有り, 2012, pp.156952099-1-6

<http://ieeexplore.ieee.org/document/6320915/>

〔学会発表〕(計 1 件)

高関怜, 佐野なぎさ, 長嶋蘭芳, 岡崎忠胤, 練習船を用いた大型船疑似操船システムの基礎研究, 第 57 回自動制御連合講演会論文集, pp.1493-1497, 2014 年 11 月 11 日, 群馬県・伊香保町。

〔その他〕
ホームページ等
<https://s-castle.com/2017/04/13/someone38uminani/>

6．研究組織

(1)研究代表者

岡崎忠胤 (OKAZAKI, Tadatsugi)
東京海洋大学・学術研究院・教授
研究者番号：70392686