モバイルデータ通信を利用した遠隔地における 航行情報表示システム

大石 浩世¹・古谷 雅理²・羽子田 哲弥¹・櫻田 武嗣³

Navigational Data Display System between Ships and Land Using Mobile Data Communication

Hiroyo OHISHI, Tadasuke FURUYA

Tetsuya HANETA and Takeshi SAKURADA

Abstract

This study proposes the marine navigation support system which provides video images and states around the target vessel. Approximately 80 percent factors of marine traffic accident is human error when we check the report for the last 5 years. Due to the shortage of domestic vessel crew and the human cost cutting, the number of domestic vessel crew has been decreasing and the rate of human error has been increasing. In order to lighten the work load of crew, we designed the system which supports watching from a distant place. Because of taking a high cost, video streaming between the ship and the land is difficult. In this paper, we achieved low delay video streaming at low cost from the cameras which installed at vessel main mast at by mobile data communications. In addition to video distribution, we get the data from nautical instruments and AIS. Owing to display these information on video images, we propose the displaying navigation status system which can grasp the states around the target vessel at a low delay from the land.

Keywords : Information Processing, Information Support, Navigation Support

キーワード: 情報処理、情報支援、航海支援

1. はじめに

海難事故の多くは人為的な要因によるものであり、過去5年間の事故を原因別にみたときおよそ8割を占めることが報告されている⁽¹⁾。原因として、少人数で業務をおこなうため乗組員への負担が大きくなり、疲労が蓄積することで集中力、注意力の低下が発生していることが挙げられる。現状、内航船員数は不足しており、乗組員数を増やすことは容易ではないため、航海士の業務支援の充実が望まれる。

近年、船舶自動識別装置(AIS)の普及が進み、遠隔地にて船舶の動静情報を取得することで、船舶航行支援を行うことが可能になった⁽²⁾。AISに加え、自船の航行情報を取得することで、PC上で自船から見える風景を再現し、航行支援及び航海技術教育をおこなうことができる⁽³⁾⁽⁴⁾。しかし、AISを利用したこれらの支援には非AIS搭載船舶の存在が欠けている。現在、総トン数500トン未満の内航船にAIS搭載義務はない。そのため、プレジャーボートや漁

¹ 学生会員 東京海洋大学大学院 (〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6)
m155006@edu.kaiyodai.co.jp, m155015@edu.kaiyodai.ac.jp

² 正会員 東京海洋大学 (〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6)
tfuruya@edu.kaiyodai.ac.jp

³ 非会員 東京農工大学 (〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16)
take-s@cc.tuat.ac.jp

船など一部の小型船舶の情報が取得できず、遠隔地側と船舶側が認識する船舶の現状が異なってしまう問題がある⁽⁵⁾。また、航行業務において自船、他船および周辺情報は欠かせないが、情報を取得する際、計器確認のために航行海域から目を離す必要があり、この視線移動は航海士の負担になる。著者らはこれらの問題を実際の映像に航海データおよび AIS データを重ねることで解決できると考えた。実カメラ映像を利用した先進安全航行支援システム INT-NAV が提案され、操船経験者から精神的負担が軽減したとの評価を受けている⁽⁶⁾。さらに船舶周囲の画像と数値データを統合する研究として、船舶にとりつけられたカメラから取得した映像とレーダ画像を用いて 3 次元環境を構築する研究が提案されている⁽⁷⁾。

本研究の目的は、遠隔地にて航行中の船舶の周辺映像、データを取得し、統合表示することで情報支援をおこなうシステムを構築することである。本論文では自船航海/機関データと他船 AIS データを取得し船舶からの受信した映像上に 3 次元環境を構築することで遠隔地からの効率的な見張り支援をおこなう情報表示システムを提案する。

2. 航海情報表示システム

提案する航海情報表示システムは、練習船汐路丸に取り付けたカメラから取得する船舶周囲の映像、自船航海/機関データ、他船 AIS データの 3 種類を遠隔地において任意のディスプレイに統合表示する。図 1 に示す通り、今回は東京海洋大学練習船汐路丸船橋上部に取り付けたカメラから映像を取得し、船内データ収集サーバおよび船内 AIS から自他船航行データを船内 LAN 経由で UDP(User Datagram Protocol)通信にて、本大学実験棟へ向けて送信する。利用するカメラは 1920×1080/30fps、画角 124.51°であり、喫水から 13.5m の高さにあるメインマスト円周上に 6 台取り付けられている。汐路丸からは送信データとして、解像度 1500×300 の JPEG 圧縮した映像データ 144.6kbps、自船航海/機関データ 2.7kbps、AIS 受信データが陸側へ送信される。6 時間の計測の平均では AIS 受信データは 6.8kbps であった。汐路丸船内では、自船航海/機関データと AIS 受信データを合わせて 34.8kbps の RS-232C シリアル信号 1 本で扱っており、シリアル通信の通信レート上限まで使用しても 34.8kbps であるため、汐路丸の送出レートは最大でもこれらを合計した 158kbps 程度である。

図 1 システム構成図

2.1 船陸間でのモバイルデータ通信の利用

船陸間通信には主に衛星回線が使用されているが、船側からのデータの上传速度の遅さが問題となっている。また、衛星回線を利用した通信にも定額制は存在するが、船舶からの映像受信といったデータの継続的利用時の通信料が高価である問題がある。そこで比較的安価な携帯電話回線を複数使用することでこれらの問題を解決する。東京湾における携帯電話回線については、海面付近において通信が利用可能であることが大島らの研究で示されている⁽⁸⁾。本研究では 300kbps の DoCoMo 系回線 2 本、500kbps の au 系回線 1 本、通信装置として MB-A100 を 2 式、Rooster RX160 を 1 式、SoftEther VPN⁽⁹⁾ を利用し、学内に設置した VPN サーバに接続する。1 回線の通信が途切れた場合は残りの回線でデータを送信し、回線復旧後 15 秒で 3 回線を利用した通信を再開することで途切れず通信をおこなう。携帯電話回線を利用することで、低コスト、低遅延で船舶から遠隔地にての映像受信が可能になった。実際の映像を確認できるため、提案システムでは非 AIS 搭載小型船舶も認識することが可能である。

2.2 画面設計

本研究ではユーザビリティの観点から提案システムの画面設計をおこなった。船舶から受信する航海/機関データには船速、緯度経度など合計 40 項目が含まれるが、全てを表示すると情報量過多となり、使用者の負担になる。そこで表示データを選定するために航海実習経験のある本大学学生、および実務経験者合計 8 名に航海/機関データ一覧を示し、操船時に重要な項目についてヒアリングをおこなった（図 3）。縦軸は航海士にとっての項目の重要度を示し、横軸は機関士にとっての項目の重要度を示す。

図 2 円柱スクリーンにおける表示画面設計

図 3 航海機関データ重要度

図 4 物標と投影面の位置関係

図 3 から航海士機関士の双方にとって船首方位、船速、風向、風速が重要な情報であることがうかがえる。以上の項目に加え、船橋で見張りをおこなうのは航海士であることから、スクリーンには航海士にとって重要度の高い情報である自船位置、舵角を優先的に表示することにした。船舶の船橋上部パネルに並ぶ航海計器で示されている情報も同様の項目が並ぶため、航海士に違和感なく受け入れられる。今回は映像を投影するディスプレイに円柱スクリーンを選択した。大画面であるため、複数人で同じ映像が視聴可能であり、さらに利用者を覆うような造形を持つため臨場感を与える効果がある。航海関連情報を数値形式のみで表示した場合、画面の大部分が覆われ、水平面付近の小型船舶やブイが塗りつぶされる。また、数値が具体的に何を示しているのかということが理解しづらい。例えば船舶から受信するデータには真風向、真風速が含まれるが、これらを数値で見ただけでは自船の船首方向に対してどの向きから風が吹いているのか直感的に判断しづらい。情報の分かりにくさは操船動作の決定を妨げ、人為的ミスを招く。よって見た者が瞬時に理解可能な形式に数値を加工する必要がある。また、人間が注視して観察することのできる安定注視野は水平方向約 60 度である⁽¹⁰⁾。人間の視野外に情報が分散すると、情報取得時の視線移動量が大きくなる。

反対に視野内に情報が集中すると、映像と重ね合わせた際に圧迫感が生まれてしまう。そこで、見張り時の視点を船首方向付近の他船の動きを注視する A と、画面全体及び航海関連情報を確認する B の 2 つに分け、画面設計をおこなった (図 2)。常に把握したい情報である船首方位、舵角は画面下部中央に配置し、適宜確認したい情報である風向風速、船位は画面上部かつ画面中央を見た場合の注視野の外に配置することで、それぞれの場合において情報取得のための負担を軽減することを目的とした。

2.3 3次元仮想空間構築

カメラから取得した映像を元に仮想空間内の他船位置を求める。他船から受信する AIS データに含まれる GPS 緯度経度データを視覚的に表示するため、自船と他船の相対方位・位置を求め、投影面上での船舶の座標を計算することで、映像内の船舶位置に船名および自船との相対ベクトルを表示する。図 4 に示す通り、投影面上での船舶の座標計算は中分緯度航法を用いて行い、東西距離を投影画面中心から見た x 方向の距離、変緯を z 方向の距離とし描画位置を決定した。

投影面上の仮想水平面の高さは汐路丸から現在建設中の環状 2 号線隅田川橋りょうまでの距離と、

図 5 上段:ディスプレイへの表示 / 下段:スクリーンへの投影

図 6 左:360 度方位リング / 右:船名重畳表示

カメラの設置位置から相似比を用いて投影面からのカメラの距離を推定することで求めた。cameraY は投影面の下端からカメラまでの高さ、cameraZ は投影面からカメラまでの奥行方向の距離である。投影面には汐路丸船橋上部マストへ円状に取り付けた 6 台のカメラのうち、正面 3 台からスクリーンの画角に合わせ、画角 190 度分の画像を合成し出力している。スクリーン中心で見張りをおこなう者から見て正横に映る物標は実際に汐路丸の正横に位置するため、直感的に物標と自船との位置関係を判断することが可能である。他船情報を入手するためには海域から目を離し ECDIS やレーダなどを確認する必要があるが、このシステムではディスプレイに他船情報が表示されるため見張りを中断することなく情報を収集することができる。

3. 実験

東京海洋大学練習船汐路丸の勝どき～館山間航海複数回における船舶周辺映像、および自船航海/機関情報、他船 AIS の数値データを東京海洋大学実験棟にて受信し、円柱スクリーンへ統合表示する実験をおこなった。

本実験の目的は 4 つ。初めに統合表示を実際におこなうことができているか表示状況を確認する。次に、船舶周辺映像を基にした物標までの距離の計測をおこなうことで、実映像と 3 次元環境における仮

想水面上の物標座標との位置関係の誤差を検証する。また、重畳データの配置・配色・種類の過不足について検証する。最後に、ネットワーク帯域を測定する。実験において、船舶から大学へ遅延量軽減のため映像を間引き、平均 5frame/s で映像データを送信し、平均 3.5frame/s で受信している。また、重畳データは大学側で受信した映像に対して 15frame/s でデータを更新し合成表示している。

3.1 スクリーンへの統合表示

図 5 上段は実験時、表示される画面をキャプチャした画面であり、下段はスクリーンにデータを統合表示した映像を、カメラで撮影した画像である。図 6 は図 5 内の船首方向を示すリング及び船舶位置に重畳されている船名データを拡大した画像である。スクリーン画面上部には航海/機関データの中から 2.3 で選定した航海時の重要項目が表示され、画面下部には現在の舵角を示す矢印と船首方位に合わせてメモリが回転するリングが表示されている。また、AIS から緯度経度を取得した他船の船名、船速および船首方位などの情報が、映像内の該当船舶のそばに表示される。実験ではこの情報の表示位置が該当船舶から発信される AIS データによって更新され、画面上で該当船舶を追跡する動きを見せることを確認した。しかし、今回構築した 3 次元仮想空間は船体動揺を考慮していない。そのため、動揺が激しくなった際、映像内の水面の傾きに対して表示が対応できず、該当船舶の動きに表示が対応できない問題があった。この問題を改善する方法として、ジャイロコンパスから得られる船体動揺角を取得することで、仮想水面を傾けて解決が可能であると考え。

図 7 配置・配色評価用画像(左:昼 / 右:夜)

表 1 重畳データの評価

評価項目	評価	コメント
配色	4	視認しやすい。逆光時の色パターンも必要
配置	5	大きさ、配置場所共に良い。
種類	4	GPS ではなく対地・対水速度の方が有用

本実験では汐路丸から解像度 1500×300 の映像を取得するが、この映像内で 1 マイル先に位置する全長 40m 程度の船舶は、2~3 ピクセルで表現される。これは波の揺らぎと同程度の大きさであるため、青・白色といった背景色と似た外観の船舶は海面と区別することができない。したがって日中、映像のみを利用した場合、自船から 1 マイル離れた場所に位置する小型、中型船舶を視認することは困難であるが、0.5 マイル以内であれば認識可能である。夜間時は航海灯の点灯により、周囲との輝度差が大きくなることで、日中よりも船舶の認識がしやすい。しかし、濃霧・荒天航海といった視界不良時のような、船橋からも肉眼で他船舶を認識することができない状況では、映像内でも船舶を認識することはできない。視界不良時に船橋からの景観が見えない場合でも、AIS データに含まれる緯度経度情報からディスプレイ上の他船位置を計算し、対応する位置に図 6 右に示されるような相手船の船首方向と針路を示す図形を描画することで物標と自船の相対位置を確認することができる。非 AIS 搭載船についてはレーダから情報を得る必要がある。

3.2 船舶の表示位置関係

他船 AIS データの重畳表示について、あらかじめ高さ、位置が既知である物標に対し距離を変えて汐路丸に取り付けられたカメラから撮影をおこなうことで、データを映像に重畳する際に生じる位置関係のずれを求めた。データの重畳位置と映像内の物標との位置関係は自船船首方向から離れるほど徐々にずれていき、正横位置で水平方向に最大 145 ピクセルずれる。垂直方向の表示位置にほぼずれは無い。表示位置がずれる理由は、映像の表示速度を優先したため、左右に配置されている映像に補正をかけて

いないからである。表示位置のずれに関しては、補正前の映像に合わせて AIS 表示描画位置を修正することで対応が可能である。

3.3 重畳データの配色・配置・種類

重畳データの表示について評価をおこなうために、PC 画面上に統合表示した画像に対し、2.1 節でヒアリングをおこなった評価者とは別に、船長にアンケートをとった。評価者は 1~5 点満点でアンケートに回答をおこなった。評価項目は映像上に重畳される情報の過不足、配置、配色の 3 つである。評価点(5 点満点)、コメントを表 1 に示す。

・ 重畳データの配色

重畳データの配色について、今回は図 7 の画像のように、勝どき周辺の昼・夜間時の状況に合わせ、時間帯が変化しても高い視認性が得られるか評価をおこなった。重畳データ表示色を決定する際、一般的に彩度が高く、背景色に対してコントラストの強い色が視認性の高い色とされているため、各種データの配色が被らないように昼・夜の配色パターンを決定した。

今回の配色の評価では、昼・夜間時の評価しかおこなっていないが、逆光時、または濃霧発生時のような視界不良時の場合についての評価もおこなう必要があるとの指摘があった。

・ 重畳データの配置

配置については、自船方位や風向、船速、船位などの情報を配置する場所、大きさについて適切かどうか評価をおこなった。

・ 重畳データの種類

表示するデータの種類については、2.1 で述べたように航海実習、および実務経験者複数人にアンケートを取った結果から、重要度の評価点の高かったものを選択して並べていたが、GPS 緯度経度は映像と同時に確認する必要は無いとの指摘を受け、それぞれ対地、対水速度に変更した。

これら 3 つの評価項目の他、仮想水面を描画するグリッドに対しての指摘があった。グリッド 1 マス

の大きさについては 50m で表示していたが、これは 1 ケーブル(185.2m)が適切であるとのコメントにより、表示に反映した。

3.4 ネットワーク帯域の検証

ネットワーク帯域の測定には、Netperf⁽¹¹⁾を使用し、TCP (Transmission Control Protocol)接続による測定実験をおこなった。システム構築時の試験計測、2 回の台場～館山間航海を 2 分間隔で計測した結果から、最低ネットワーク帯域は 300kbps 回線 1 本の時点で 234kbps であり、最高は 500kbps で通信している時の 478kbps である。平均帯域は 334.1kbps (± 99.8kbps)である。

4. まとめ

本研究では遠隔地にて船舶周辺環境映像を受信し、受信した映像に対して他船 AIS データ及び自船航海/機関データをディスプレイ上で統合表示する航行関連情報表示システムを作成し、またこのシステムの設計に関して評価をおこなった。

本研究は、情報取得の際に生じる負担を軽減する提案システムを利用することで、見張り業務を支援することが目的である。提案システムを利用した際の情報取得を容易にするために、表示情報の選別、表示配色の評価、配置に関する検討し、設計した画面の視認性について船員にアンケートをおこなった。また、他船 AIS データ描画に関し、未補正の左右の映像では誤差が発生する。

本研究で提案した航行情報表示システムにはこれまでの航行支援システムには無かった 2 つの利点がある。1 つは低遅延で映像を受け取り、該当船舶の船橋から見渡すことのできる景色を遠隔地にて確認できること。これにより、遠隔地にいながら該当船舶周囲の状況を数値やレーダ画面ではなく、実映像で把握することが可能である。そしてもう 1 つは、映像と共に船舶自身と周囲の物標との位置関係を、瞬時に把握可能な形で表示できることである。例えば霧中航海や夜間航海のような、瞬時に船の位置関係を把握しにくい時の操船において、船舶側でも視認不可能な他船位置を実映像上に表示できるため、操船支援として有効であると考えられる。

今後の課題として、視界不良時に目視できない船舶に対し、ディスプレイ上で他船位置を表示した場合、どの程度実際の物標の認識に対して効果が望めるか、客観的に評価をおこなう必要がある。また、

船体動揺を考慮していないため、仮想水面の傾きと実映像の水面の傾きが異なり、重畳データが該当船舶の動きを追跡できない問題がある。この問題については船体動揺データを取得し、船舶の動揺を除去することで対応を検討中である。今回の実験では遅延量に関する客観的な評価を示していないが、汐路丸～大学間のネットワーク帯域 334kbps に対し、汐路丸から送信するデータは 158kbps であるため、通信帯域は十分足りているといえる。また、自船航海/機関情報・AIS 情報を表示する数値データに関してはネットワーク帯域から見て、最大でも 34.8kbps と小さいデータ量の通信で済むため、滞りなく通信がおこなわれる。数値データの欠損については、UDP 通信を利用し細かいパケットで通信していることと、一時的にデータに欠損が発生した場合でも、次に来る新しいデータを取得できるため、表示には問題が無い。映像に関しては通信状況により数秒の遅延が見られることもある。また、船舶周辺環境映像の撮影には、IP(Internet Protocol)カメラを利用しているため、船内での映像受信の際にも遅延が発生している。本研究では映像を間引くことで遅延量軽減をおこなった。通信の改善には携帯電話回線の本数を増やす、高速回線を利用することで対応可能であると考えられる。

また、新たな操船支援システムが導入されるたびに乗組員の操作法への習熟や表示法への慣れに時間が割かれてしまう傾向があるが、ユーザーの視界の動きに合わせてカメラの撮影範囲を変更する、音声に応じて表示情報を切り換えるなどインタラクティブな操作法を加えることで円滑に操作法を理解可能な航行情報表示システムの実現が期待できる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、実験にご協力いただいた東京海洋大学練習船汐路丸の乗組員の皆さまに感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 海上保安庁：平成 26 年における海難の現況と対策について、
<http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/h27/k20150318/k150318-2.pdf>, 2016. 3.
- (2) 丹羽康之, 福戸淳司, 宮本佳則, 稲岡孝: AIS 情報を用いた小型船用見張り支援システム, 日本航海学会論文集, Vol. 122, pp. 35-43, 2010 10.

- (3) 高岡俊輔, 永本和寿, 藤岡定史効: 3D シップナビゲーションについて, 弓削商船高等専門学校紀要, Vol. 33, No. 1, pp. 7-12, 2011. 1.
- (4) 牧野秀成, 奥野誠: 船舶航行支援のための可搬型遠隔モニタリングシステムの構築に関する研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), vol. 70, No. 2, pp. I_966-I_971, 2014. 10.
- (5) 鈴木治: 船陸間情報通信の変遷とこれから—よりパーソナルなテレビと携帯電話, そしてインターネットへ (特集 船陸間情報通信の現状と将来), 海と安全, Vol. 45, No. 548, pp. 16-19, 2011. 2.
- (6) 疋田賢次郎, 福戸淳司, 岡崎忠胤: 新しい安全航行支援システム INT-NAV の開発と評価: 景観画像と航行情報を統合表示する先進安全航行支援システム, 電子情報通信学会技術研究報告, SSS 安全性, Vol. 106, No. 311, pp. 21-24, 2006. 10.
- (7) 長島雄大, 古谷雅理, 稲石正明, 榎野純: 船舶周囲の監視に関する研究, 日本航海学会論文集, Vol. 127, pp. 141-148, 2012. 5.
- (8) 大島浩太, 古谷雅理, 竹本孝弘, 庄司るり: 東京湾・浦賀水道海上の航路における 3G 電波強度調査, 日本航海学会論文集, Vol. 132.0, pp. 78-85, 2015. 7.
- (9) 登大遊: SoftEther による Ethernet の仮想化とトンネリング通信, 情報処理学会第 45 回プログラミング・シンポジウム論文誌, pp. 147-158, 2004. 1.
- (10) 清川清: 広画角高精細ディスプレイにおける最近 1 年の技術動向, 光産業技術振興協会 技術動向調査報告書, pp. 395-398, <http://www.lab.ime.cmc.osaka-u.ac.jp/~kiyo/cr/kiyokawa-2002-03-Hikari-Report/kiyokawa-2002-03-Hikari-Report.pdf>, 2016. 3.
- (11) Netperf, available from (<http://www.netperf.org/netperf/>), 2016. 1.