

船舶航行データ可視化に向けた 船舶トラッキングのための船舶特徴点推定

岸晃平^{†1} 白石陽^{†2}

近年、船舶の航行に関する情報（船舶航行データ）を自動的に送受信する船舶自動識別装置（Automatic Identification System : AIS）の普及が進み、船舶の位置や速度、船首の方向等の船舶航行データを容易に取得できるようになった。そのため、AIS で共有されるデータ（AIS データ）を可視化して船舶の安全な航海の支援や海上交通・海難事故の分析に関する研究が行われている。本研究では、観光客や船舶に興味のあるユーザが対象海域を見渡している場面を想定し、船舶航行データの直感的な可視化を目指す。そこで拡張現実感（Augmented Reality: AR）を利用して AIS データを直感的に可視化する。対象海域を見渡せる場所から船舶の動向を観測する場合、既存システムをそのまま適用することはできない。また、AR を利用するにあたって現実世界と仮想物体の位置合わせが必要になるが、本研究の対象とする屋外環境下において、既存の位置合わせ手法をそのまま応用したのでは不十分である。さらに、カメラ画像だけでは世界座標におけるカメラと対象船舶の位置関係を把握できないため、AIS データを対応付けることは困難である。そこで、本研究では、カメラ画像と端末のセンサ、AIS データを用いてカメラ画像中の対象船舶の特徴点を推定する手法を提案する。対象海域上の船舶の位置は、カメラ画像を用いた背景差分により船舶の特徴点を推定する。対象海域には複数の船舶が存在すると考えられるため、抽出した船舶の特徴点のトラッキングを行うことで対象の船舶を識別する。また、AIS データから得られる船舶の位置情報や船速、端末のセンサ情報を基に対象船舶と AIS データを対応付けるシステムの検討を行う。さらに、対象環境下において、提案手法により船舶特徴点の抽出及びトラッキングを行い船舶の識別や位置推定が可能であるかを調べる実験を行った。

Estimation of the feature points of vessels for tracking towards visualizing vessel navigation data

KOHEI KISHI^{†1} YOH SHIRAISHI^{†2}

Recently, Automatic identification system(AIS) to automatically send and receive information on vessel became common. Therefore, we were able to easily retrieve the data of the position, speed of the ship and all that. Consequently, AIS data is visualized, and have been studied with about support of safety of navigation and analysis of accident at sea. In this study, we aim to intuitive visualization of marine navigation data be geared toward tourists that overlooks target marine area and people who are interested in ship. So, we used augmented reality(AR) and intuitively visualize the AIS data. When we make observations of the ship from target marine area, existing system can't be used as it is. In addition, when we use the AR, We need to position adjustment of alignment of the virtual object and the real world. However, application of the existing alignment technique is not enough when using AR under the outdoor environment of interest in this study. Furthermore, because camera image cannot comprehend the position relation between the camera and the vessel in the world coordinate, it is difficult to associate the AIS data to the vessel. Therefore, in this study, we propose a method to estimate the feature points of the target vessels in the camera image using the camera image and the terminal of the sensor, the AIS data. Vessels position on the target area estimates the feature points of the vessel by background difference using the camera image. Because there are multiple vessels to the target sea area, we identify the target vessel by performing tracking of the feature point of vessels. We examine system for associating the target vessel and AIS data using the sensor information of the terminal and the position information and the vessel speed of the vessel derived from the AIS data. Furthermore, we experiment on examine whether it is possible to extract feature points of vessels and identification of the vessels to perform the tracking and position estimation by the proposed method under the target environment.

1. はじめに

近年、大型船や旅客船への船舶自動識別装置（Automatic Identification System : AIS）の普及が進んでおり、船舶の現在位置や速度、船首方向等の船舶の航行に関するデータ（以下、船舶航行データ）を容易に取得できるようになった[1]。AIS は船舶の現在位置や速度、船首方向及び船体データ、航行の安全に関する情報を共有するシステムである。この AIS から取得したデータ（以下、AIS データ）を可視化することで他船舶の位置や針路を把握し、船舶の安全な航行

の支援や海上交通の分析を行う研究が進められている[2,3]。また、船舶の衝突等の海難事故防止や海上交通の分析といった海上交通の安全に関連した研究として、カメラ画像を用いて船舶の動向を把握し、対象海域の観察を補助する研究が行われている[4,5]。これらの研究では、カメラ画像中の船舶特徴点を推定する手法や船舶のトラッキングを行う手法が提案されている。この他にも移動体検出に関する既存の研究は存在するが、海上の船舶を対象とした場合に既存研究をそのまま適用することは困難である。

一方、実世界画像に CG 等の仮想物体を重畳表示する AR（Augmented Reality : 拡張現実感）技術が発展し、様々なデータを実世界に関連付けて可視化できるようになってき

†1 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate.
†2 公立はこだて未来大学 システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate.

ている[6]. この技術を用いて様々なデータを実世界と対応付けることで、直感的な可視化が可能になるため、ユーザの認知的負担を軽減できる. 観光客や船舶に興味がある人が、海域を見渡せる場所で船舶の動向や航行状態を観察する場合、AR を用いて AIS から取得した船舶航行データを対象の船舶に関連付けて可視化できれば、より直感的な可視化が可能になると考えられる.

そこで、本研究では対象海域を見渡せる場所から船舶を観察する際に、AR を用いて AIS データを直感的に可視化することを目標とする. AR を用いて AIS データを対象船舶に対応付けて重畳表示する場合、対象船舶に対するカメラの位置・姿勢を取得する必要がある. そこで、カメラ画像から船舶特徴点を抽出し、トラッキングを行うことで対象海域に存在する複数の船舶の中から対象の船舶を識別し、対象船舶の位置を推定する. 本稿では、本研究の対象とする屋外環境下でカメラ画像から船舶の特徴点を推定する船舶特徴点推定手法を提案し、提案手法を用いて抽出した船舶特徴点をトラッキングし船舶を識別することを目的とする.

2. 関連研究

本章では、AIS と AR の概要を述べ、AIS データの可視化や画像を用いた船舶の認識やトラッキングに関する研究について述べる.

2.1 AIS

AIS は、船舶の安全向上を目的として開発されたシステムである. このシステムでは、船舶の識別符号、種類、位置、針路、速力、航行状態およびその他の安全に関する情報を船舶間および船舶と陸上の航行支援施設等との間で自動的に送受信している. AIS を利用することで、対象海域の AIS を搭載した船舶の動向を把握することが可能となる. AIS は、国際海事機関 (International Maritime Organization : IMO) が定める SOLAS 条約 (Safety Of Life At Sea convention : 海上における人命の安全のための国際条約) により、一定の規模以上の船舶への搭載が義務付けられている. これにより、AIS の普及が進み、船舶の安全向上を目指した AIS を利用した航行支援システムの開発や AIS から取得したデータを基に海上交通・海難事故の分析に関する研究が行われている[7,8].

2.2 AR

AR とはユーザが見ている実世界に CG 等の仮想物体を重畳表示することで、ユーザがいる場所に応じた情報を直感的に表示する技術である. AR では背景となる実世界に仮想物体を違和感なく重畳表示させ、仮想物体が実世界に実際に存在しているように見せることが重要である. この際の課題として挙げられるのが、実世界の対象物体と仮想

物体の幾何学的整合性である. これは、位置合わせ問題とも呼ばれ、この問題を解決するためには実世界の対象物体に対するカメラの位置と姿勢を常に取得・追跡することが必要となる[9]. この位置合わせの問題を解決する手法として、大きく分けてマーカベース手法、マーカレス手法、センサベース手法の3つの手法が存在する[10].

マーカベース手法は、専用の AR マーカを利用して位置合わせを行い、そのマーカ上に CG を重畳表示する. この手法は位置合わせの精度が非常に高い. しかし、実世界に AR マーカの設置が必要になるため、屋外で利用する場合は設置場所が限定される.

マーカレス手法は、実画像の特徴点を利用して実世界との位置合わせを行う. この手法は、カメラ画像から取得した特徴点を基に位置合わせを行うため AR マーカの設置が不要であり、位置合わせの精度が高い. しかし、位置合わせを行う際に対象の物体の画像や特徴点等のデータが必要になる場合が多い.

センサベース手法は、GPS やジャイロセンサ等の端末のセンサからカメラの位置・姿勢を取得し、実世界と仮想物体の位置合わせを行う. この手法は、照明環境の変化の多い屋外環境において、カメラ画像を利用しないため照明環境に左右されないという利点がある. しかし、センサからの計測誤差等により他の手法より位置合わせの精度が低い. そのため、カメラ画像から取得した建物と空の境界線を利用して精度を向上させる研究が行われている[11].

以上より、本研究の対象とする環境下において、既存の手法をそのまま適用することは困難である. そこで、本研究では、カメラ画像から対象物体の位置を推定し、端末のセンサからカメラの位置・姿勢を取得することで対象物体と仮想物体の位置合わせを行う.

2.3 AIS データの可視化

AIS データの可視化に関する取り組みとして、船舶の位置情報や船舶の航行に関する情報をリアルタイムに表示するライブ船舶マップという Web サービスがある[2]. ライブ船舶マップでは、AIS データを基に現在の船舶位置や予定入出港、船首方向等の情報を表示している. また、船舶の種類を色で区別し、船舶の動静を図形で表現している. しかし、実際に海上を目で見ながら、このシステムを利用する場合には、2次元マップ上に表示されているデータと実世界の船舶とを見比べてユーザ自身がデータの対応付けを行わなければならない.

また、AR を利用して AIS データを実世界に重畳表示することで、船員の目視認識を手助けすることを目的とした研究もある[3]. この研究では目視認識支援装置という機材を船舶に搭載する. 目視認識支援装置ではシースルー型のディスプレイを使用することでレーダーエコーと AIS データの実世界への重畳表示を可能にしている. これにより、

目視を行う場合に実世界の船舶と AIS データを対応付けるという認知的負担を軽減することができ、レーダー等のデータも統合表示されるので作業負担の軽減にもつながる。しかし、この手法では可視化を行うための装置が大がかりになってしまう。

2.4 船舶位置推定

カメラ画像から船舶位置の推定や船舶のトラッキングを行うことで、船舶の動向の観察を補助し、船舶の衝突事故防止等の海上交通の安全を支援することを目指した研究が行われている。

画像を用いて船舶のトラッキングを行う研究の一つとして、赤外線カメラを利用した研究がある[4]。この研究では低照度の環境下でも対応できるように赤外線カメラを利用している。移動体抽出には計算量の少ないフレーム間差分に背景差分を補助的に組み合わせたものを利用し、領域拡張法を用いて移動体を抽出している。トラッキングでは対象の船舶の大きさと速度ベクトルを登録し予測移動位置を計算する。その後速度情報に基づいてマッチングを行い、類似度の高い移動体を対象の船舶としている。移動ベクトルなどの特徴量は随時更新し、次の移動位置の予測を行いながらトラッキングしている。この研究では AIS データの対応付けは行われていない。また、この研究では赤外線カメラを利用しているが、本研究の想定する環境では導入コストがかかってしまう。

また、HOG (Histogram of Oriented Gradient) 特徴量を用いて画像中の船舶を認識する研究がある[5]。この研究では船舶の特徴量抽出に HOG 特徴量を利用し、抽出した船舶の特徴量の識別に機械学習アルゴリズムの一つである線形 SVM (Support Vector Machine) を利用している。この手法では、船舶が航行していない場合や静止画から船舶を認識する場合でも適応可能である。しかし、機械学習アルゴリズムで特徴量を識別する場合、大量の学習データを用意する必要がある。また、この研究では AIS データとの対応付けや認識した船舶のトラッキングは行われていない。

3. 提案手法

本章では、本研究の目的と研究課題に対するアプローチを述べ、その後、システムの全体像や本稿の提案手法について述べる。

3.1 研究目的とアプローチ

本研究の研究目的は船舶航行データを直感的に可視化することである。本研究では船舶航行データの取得に AIS データを利用する。既存研究では AIS データと実世界との対応付けが不十分であることや、装置が大がかりで導入コストが大きいこと等が問題として挙げられる。そこで、携

帯端末上で AR を用いた AIS データの直感的な可視化を行う。

AR を用いて AIS データを可視化する場合、海上には AR マーカーを設置することは困難なため、マーカーベース手法を利用することはできない。また、AIS データを受信する際の遅延や船舶の位置センサの計測誤差が想定されるため、センサベース手法だけでは不十分である。そこで、カメラ画像と端末のセンサ、AIS データから対象船舶の位置と対象船舶に対するカメラの位置・姿勢を推定する位置合わせ手法を提案する。

3.2 本稿の目的とアプローチ

対象環境下で対象船舶と仮想物体の位置合わせを行うために、カメラ画像から船舶の特徴点を抽出しトラッキングすることを本稿の目的とする。既存の手法では、カメラの位置・姿勢や照明環境に対応した大量の画像が必要であるという問題がある。そこで本研究ではカメラ画像のみで船舶特徴点を推定し、トラッキングを行う手法を提案する。

提案手法では、背景差分を用いて船舶特徴点の抽出し、抽出した船舶特徴点のトラッキングを行う。背景差分に必要な背景画像はカメラ画像から生成したものを利用し、カメラの位置・姿勢や照明環境の変化に応じて背景画像を更新する。

3.3 システム構成

本研究では、AR を用いて対象船舶に AIS データを対応付けて直感的に可視化する。そのためには、対象船舶のカメラ画像中の位置と対象船舶に対するカメラの位置・姿勢を取得する必要がある。そこで、本研究では、端末のカメラ画像から船舶の特徴点を推定し、トラッキングを行うことで船舶の位置を推定する。また、端末のセンサからカメラの位置・姿勢を取得し、対象の船舶に AIS データを対応付ける。図 1 にシステム構成図を示す。



図 1 システム構成図

ここで、システムの流れを説明する。

- (1) 端末のカメラから取得した入力画像を本研究の船舶特徴点推定手法を用いて船舶の特徴点を推定し、船舶のトラッキングを行い、入力画像中の船舶位置を推定する。
- (2) 端末のセンサにより端末の位置情報を取得し、端末から一定の距離以内に存在する船舶の AIS データを取得し、対象海域の AIS データとする。
- (3) AIS データの船舶の位置情報や船速等と端末のセンサから取得したカメラの位置・姿勢を基に、対象の船舶に AIS データを対応付ける。
- (4) AIS データを基に CG を作成し、推定した船舶特徴点に合わせて重畳表示する。
- (5) 背景差分用の背景画像を定期的に更新し、船舶特徴点推定とトラッキングを繰り返す。

(1)については、本研究では背景差分を利用して船舶特徴点を推定するため、カメラから取得した実画像から背景画像を作成する。これにより、背景画像として大量の画像データを用意する必要がない。また、船舶特徴点推定にカメラ画像を利用することで、航行中の船舶でもセンサの計測誤差等の影響を受けずに正確に仮想物体を船舶の位置に合わせて重畳表示することができる。また、(2)について、AIS データの取得には専用の AIS 受信機が必要になる。そこで、AIS 受信機を接続した PC を用いて AIS データを取得し、AIS データベースに蓄積する。取得した AIS データは随時 Web 上にアップロードし、インターネットを介して AIS データを取得する (図 2)。

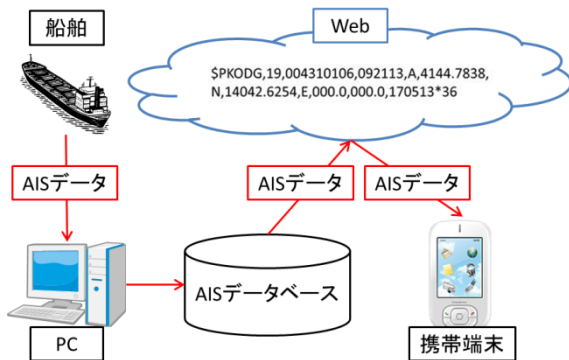


図 2 AIS データの取得

その後、AIS データから取得した船舶の位置情報等を基に、対象の船舶に対応した AIS データと画像中の船舶の特徴点を対応付けて重畳表示する。

本稿では、主に(1)の船舶特徴点推定とトラッキングを行う部分について述べる。

3.4 位置合わせ手法

本研究で対象とする環境下でマーカレス AR を実現するためには、画像中の船舶の位置を取得する必要がある。そ

こで、本研究では船舶の特徴点を推定・トラッキングを行うことで船舶の画像中の位置を推定する。船舶の特徴点推定には、様々な手法が考えられるが、対象とする環境下では港の建物などの特徴点が多く、停船中の船舶も存在することから、背景差分を用いた。背景差分を用いることで、航行中の船舶だけでなく、停船中の船舶も取得することができる。また、背景差分を利用するにあたって、背景画像が必要になるが、対象とする環境下では照明環境の変化が生じるため、時間帯やカメラの位置・姿勢に対応した背景画像が必要になる。しかし、様々な照明環境や場所に対応した背景画像を用意すると、膨大な数の背景画像を撮影しなければならない。そこで、背景差分用の背景画像を、カメラから取得した画像を利用して生成し、生成した背景画像を用いて背景差分を行い船舶の特徴点を抽出する手法を提案する。抽出した船舶特徴点のトラッキングを行うことで船舶の動静を把握し、船舶位置情報や船速等の AIS データと端末のセンサによるカメラの位置と姿勢の情報を基に端末と対象の船舶の位置関係を求め、対象の船舶と AIS データを対応付ける。今回は特に船舶特徴点の抽出とトラッキングの開発を行った。

3.5 船舶特徴点推定手法とトラッキング

船舶特徴点推定手法について詳しく説明する。本研究では、船舶特徴点の抽出に背景差分を利用する。対象環境の照明環境の変化やカメラの位置・姿勢の変化に対応するため、本研究ではカメラ画像から背景画像をその場で生成する。背景画像は、入力画像の平滑化や色分割、二値化によって合成画像用のマスク画像を作成し、平滑化した画像を入力画像に合成することで生成する。船舶特徴点抽出は次の手順で行う (図 3)。

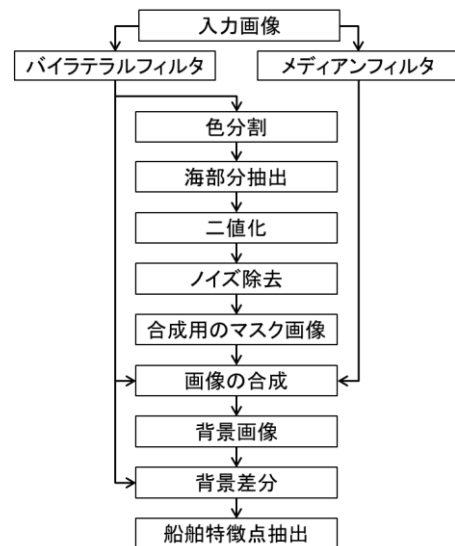


図 3 船舶特徴点抽出の流れ

以下、各処理を詳しく説明する。

- (1) 色分割や背景差分におけるノイズを軽減するために、

バイラテラルフィルタを用いて入力画像の平滑化を行う (図 4)。



図 4 バイラテラルフィルタによる平滑化画像

- (2) 画像中の海の部分を抽出するために、HSV 画像に変換し、色分割を行う (図 5)。

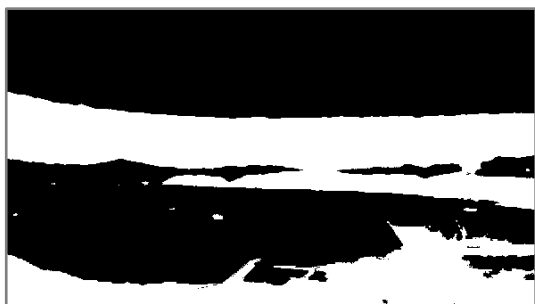


図 5 HSV による色分割画像

- (3) 画像合成用のマスク画像を作成するために、色分割した画像を二値化し、海以外の部分をノイズとして除去する。その後、二値画像の膨張縮小処理で細かいノイズを除去する (図 6)。

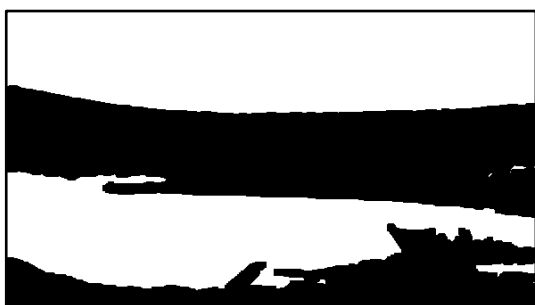


図 6 ノイズ除去後の二値化画像

- (4) 海の部分の特徴量を除去するために、メディアンフィルタを用いて入力画像の平滑化する (図 7)。

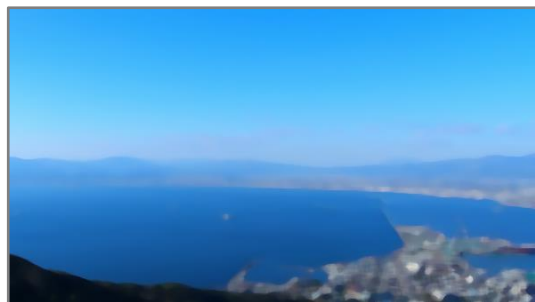


図 7 メディアンフィルタに平滑化画像

- (5) 背景画像を作成するために、合成画像用のマスク画像を用いて、バイラテラルフィルタ処理画像の海の部分

に、メディアンフィルタ処理画像の海の部分を合成する (図 8)。

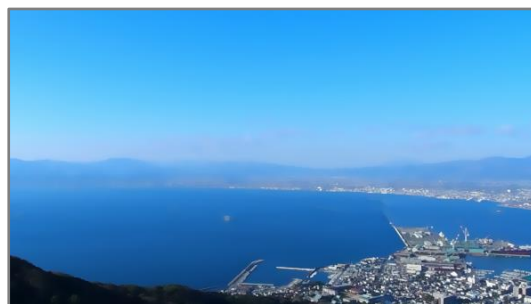


図 8 合成して作成した背景画像

(1)について、平滑化にバイラテラルフィルタを用いることで、物体の輪郭を損なわずに色のムラをなくすことができるため、合成画像用のマスク画像を作成する際、海の部分をより正確に抽出することができる。また、(4)について、合成する画像をメディアンフィルタで平滑化することで、バイラテラルフィルタでは除去しきれないノイズや船舶を除去することができる。このように、生成した背景画像を用いて、バイラテラルフィルタで平滑化した入力画像との背景差分を求めることで船舶のみを抽出することができる。また、定期的に背景画像を生成し直すことで、照明環境の変化によるノイズの発生を軽減する。抽出した船舶の特徴点は、特徴点の移動量と面積差を用いてトラッキングを行う。

4. 実験および評価

本研究で対象とする環境下で提案した手法が有効であることを確かめるために、船舶特徴点推定とトラッキングの精度評価実験を行う。ここでは実験結果と考察を述べる。

4.1 実験

提案した船舶特徴点推定手法で、本研究で想定する環境下で船舶の特徴点が正確に抽出できるか実験を行った。実験では、対象の海域が見渡せるような高い場所から撮影した動画を利用して行う。動画から切り出したフレームを入力画像として処理を行った。なお、動画を撮影した際の天候は晴れであった。また、実験で用いた端末の仕様は表 1 の通りである。

表 1 実験で用いた端末の仕様

OS	Windows8.1 64bit
PC	DELL XPS12
CPU	Core i7 1.9GHz
メモリ	8GB
HDD	240GB

また、提案手法の実装は C++で行い、OpenCV2.4.9 のライブラリを利用して作成した。なお、照明環境の変化によ

り、色分割等のパラメータの調整の調整が必要になるが、今回の実験では手動でパラメータ調整を行った。

4.2 船舶特徴点推定の実験結果及び考察

船舶特徴点は、入力画像から生成した背景画像を利用して背景差分を求めることで船舶の特徴点の抽出を行った。パラメータは船舶以外のノイズが最小限になるように調整し、定期的に背景画像を更新した。入力画像の例を図9に示し、実験結果を図10に示す。



図9 海上存在する船舶の位置

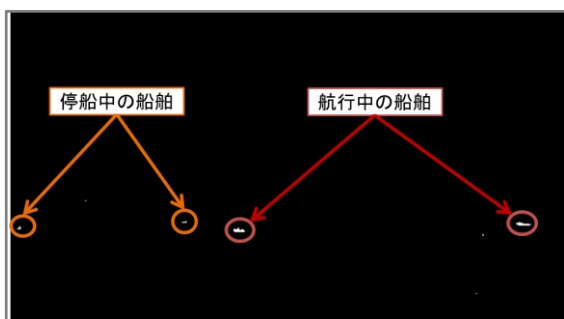


図10 背景差分結果と船舶特徴点の位置

背景画像の更新を繰り返すことで、海上に存在する船舶のうち、主に旅客船等の大型船舶において、航行中・停船中に関わらず図8のような船舶特徴点を抽出することができた。また、画像の輝度の変化、カメラの姿勢の変化によってノイズが発生した。画像の輝度の変化は頻繁ではないが、カメラ姿勢の変化は頻繁に見られた。また、小型船舶がノイズと共に除去されてしまう場合があった。

次に実験結果に対する考察を述べる。輝度の変化には、背景画像の更新やパラメータの調整で対応できた。しかし、主に天候が晴れの場合の日中の動画を使用しているため、天候が曇りの場合や夕方の場合の動画でも、提案手法で輝度の変化に対応できるか調べる必要がある。また、カメラの姿勢の変化にも、背景画像の更新で対応できるが、激しく姿勢が変化する場合には背景画像を頻繁に更新する必要があった。そのため、定期的な背景画像の更新に加えて、カメラ姿勢の変化を検出し、検出したタイミングに合わせて背景画像を更新する必要がある。カメラ姿勢の変化の検出には、端末のセンサや画像中のノイズの量等の利用が考えられる。

また、ボートなどの小型船舶の特徴点を抽出することはできなかった。これは、背景差分を求める際にノイズを軽減するために平滑化した画像を利用していることが原因だと考えられる。小型船の抽出には、ノイズ除去のパラメータの調整や、移動体検出手法の組み込み等の対策が必要になると考えられる。また、船舶以外の細かいノイズが発生してしまうことがある。これは、海沿いの建物や防波堤等の一部が誤検知されてしまっていることが原因だと考えられる。しかし、色分割や平滑化のパラメータ調整でノイズを除去しようとする、船舶の検出精度が低下してしまう。そこで、推定した特徴点の輪郭の大きさや移動量等を利用してノイズと船舶の特徴点を識別する必要があると考えられる。

4.3 船舶特徴点トラッキングの実験結果及び考察

提案手法により抽出した船舶特徴点をトラッキングする実験を行った。今回の実験では、船舶の特徴点の連結成分の面積の大きさを比較することで、トラッキングを行う。提案手法で抽出した船舶特徴点のトラッキングを行った結果を図11に示す。

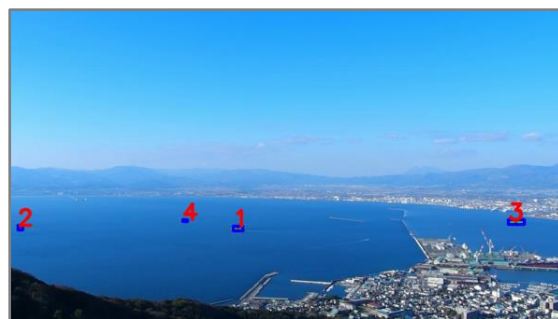


図11 船舶のトラッキング

船舶特徴点の連結成分の面積が各船舶で違うときは、対象海域の船舶を識別しトラッキングすることが可能である。しかし、船舶特徴点の連結成分の面積が小さいとき、ノイズの連結成分の面積と同等の大きさになってしまい、誤認識が発生してしまうことが分かった。そのため、対象船舶の特徴点の移動量を抽出し、移動量が大きすぎる場合にその特徴点をノイズとして除去するといった対策が必要になると考えられる。

5. まとめ

本研究では、マーカレス手法と端末のセンサを用いて、AISデータを直感的に可視化するARシステムの実現に向け、カメラ画像から船舶特徴点を推定しトラッキングを行う手法を提案した。提案手法を用いることで、センサベース手法よりも精度の高い位置合わせを行うことができると考えられる。また、本研究が対象とする環境下において、既存の手法では大量の背景画像等の画像データが必要とな

るが、提案手法を用いることで、カメラからの入力画像のみで照明環境の変化にも対応しうる背景差分を行うことができると考えられる。

今後は、色分割等のパラメータを端末の照度センサや画像の輝度値により自動的に最適なパラメータを設定することで、効率良くかつ正確に対象海域の海の部分を抽出し、背景差分を求める際のノイズの軽減を行う。さらに、船舶特徴点の移動量を利用し、トラッキングの精度の向上を図る。また、AIS との連携を進め、端末のセンサと AIS データを基に対象の船舶とカメラの相対的な位置関係を取得し、画像中の対象船舶の特徴点の位置に対応する AIS データを重畳表示する。

参考文献

- 1) 福戸淳司, AIS が生み出す航行支援の可能性, 日本船舶海洋工学会誌, No.31, pp.31-32, 2010.
- 2) エーゲ大学 製品システム設計エンジニアリング学部, MarineTraffic.com, <http://www.marinetraffic.com/ais/jp/>
- 3) 疋田賢次郎, 船舶用目視認識支援装置の開発, 電子情報通信学会技術研究報告, SSS, 安全性, Vol.110, No.145, pp.21-24, 2010.
- 4) 矢田土郎, 赤外線センサによる船舶のトラッキング, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文 2003 年通信, Vol.1, p.264, 2003.
- 5) 松本洋平, HOG 特徴量を用いた船舶画像認識, 日本公開学会講演予稿集, Vol.1, No.1, pp.83-86, 2013.
- 6) 神原誠之, 基礎 1 : 拡張現実 (Augmented Reality) 概論, 情報処理, Vol.51, No.4, pp.367-372, 2010.
- 7) 丹羽康之, 本木久也, 船舶自動識別装置 (AIS) 情報による開門航路の交通分析, 日本航海学会誌, Vol.2009, No.18, pp.325-326, 2009.
- 8) 高橋宏直, 後藤健太郎, AIS データの港湾整備への活用に関する研究, 国土技術政策総合研究資料, No.420, 2010.
- 9) 海上保安庁, AIS を活用した航行支援システム, http://www.kaiho.mlit.go.jp/syoukai/soshiki/toudai/ais/ais_index.htm
- 10) 植松裕子, 基礎 2: 位置合わせ技術 (<特集>拡張現実感 (AR)), 情報処理, Vol.51, No.4, pp.373-378, 2010.
- 11) 石川高志, 全へい東, 画像処理を用いた屋外 AR システムのための高精度定位, 情報処理学会研究報告, CVIM, コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.2005, No.18, pp.181-188, 2005.