

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760681

研究課題名(和文) 操船者の推論を考慮したレーダ画像処理による小型船舶映像の抽出に関する研究

研究課題名(英文) A Method for Ship Detection by the Radar Image Processing based on the Prediction of Navigation Officers

研究代表者

西崎 ちひろ (NISHIZAKI, Chihiro)

独立行政法人海上技術安全研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：70570993

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,000,000円、(間接経費) 300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、将来的に航海士の見張り精度を維持しつつ、作業負担を軽減するために、レーダにおける小型船を含む船舶画像の自動捕捉を最終目標として取り組んだ。そこで本研究では、通常航海士が目に行っているレーダのラスター画像を用いて、画像処理及びクラスタ分析による船舶画像の自動抽出アルゴリズムを構築した。実船で収集したレーダのラスター画像から船舶画像を抽出した結果、船舶画像であるか、それとも船舶以外の画像であるのか、約83%の画像について正確に判定することができた。誤判定したケースの大半は、船舶以外の画像を船舶画像として判定したもので、船舶と考えられる画像の大半を自動で判定することができた。

研究成果の概要(英文)：In order to save the effort of navigation officers with keeping watch quality, it is necessary to select and acquire ship images in radar images automatically. The future purpose of this study is to automatically detect ship images on the radar. Therefore, in this study, we proposed the method for dividing ship images from non-ship images by the image processing and the cluster analysis using radar raster images. As a result of the image processing and the cluster analysis, it was possible to detect a large part of ship images from radar raster images. However, there were many cases that non-ship images were classed as ship images. Therefore, the accuracy rate of cluster analysis results in this study was about 83%.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：見張り支援 レーダ画像 レーダ画像処理 小型船舶 航海士 船舶運航 海上安全

### 1. 研究開始当初の背景

現在、漁船等を含む小型船舶が関係する衝突海難事故が多数発生しており、衝突海難事故の軽減には、小型船舶を含む船舶の見張り精度向上が必要である。見張り精度の向上には、新しい見張り支援機器の導入とは別に、すでに多くの船舶に搭載され、航海士の使用頻度も高い、レーダによる見張り精度を向上させることが有効と考えられる。しかし、レーダはあくまで電波の反射の有無を示す機器であり、海面反射等の偽像を多く含むと共に、船舶の画像であるかどうかの判断には、航海士の経験が必要とされる。

一方、レーダ信号処理等により、レーダ画像上に現れる雑音の除去やレーダ電波の反射特徴の分析に関する研究、さらに、レーダ画面上での船舶の自動追尾に関する研究が多数行われている。しかし、航海士の目にしていない情報は、あくまで PPI (Plan Position Indicator) スコープのレーダ画像であり、現在、船舶画像の自動判定・捕捉基準は確立していないのが現状である。

本研究の応募者は、操船シミュレータ実験及び航海士の行動解析による、航海士の見張り特性に関する研究と、レーダ信号を用いた船舶の抽出に関する研究を行ってきた。これらの経験により、当直中の航海士の見張り作業特徴を反映した、レーダによる船舶抽出のアルゴリズムの構築が可能と考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究は、航海士がレーダ画面上にて通常手動で行われている船舶画像の判定・捕捉を自動化することを最終目標とし、レーダのラスタ画像を用いた画像処理により、小型船舶を含む船舶画像を自動抽出することを目的とする。本研究は、レーダ信号ではなく、通常航海士が目にしていないレーダのラスタ画像を用いて、画像処理によるアプローチを行う点及び航海士の見張り作業の特徴を画像処理アルゴリズムに反映する点に特徴がある。

### 3. 研究の方法

本研究では、下記に示した(1)~(3)の大きく3つの項目について、2年間の計画で取り組んだ。

- (1) 航海士の見張り行動分析及びヒアリング調査により、レーダにおける見張り作業の現状を把握
- (2) レーダ画像に含まれる船舶と考えられる画像の自動抽出アルゴリズムの構築
- (3) 船舶画像の抽出結果の評価

研究の手順について、図1に示すと共に、それぞれの項目に関し、次に詳しく述べる。

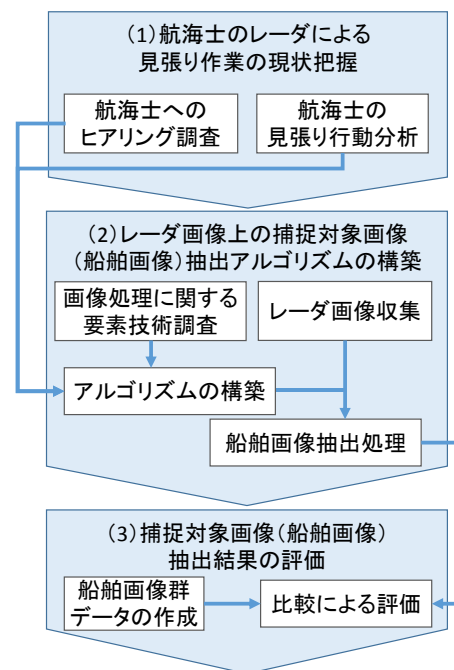


図1 研究の手順

#### (1) レーダにおける見張り状況の現状把握

##### ① ヒアリング調査

操船実務経験のある航海士5名について、レーダの使用状況や ARPA(Automatic Radar Plotting Aids)機能の使用状況、また目視も含めた見張り作業において注目している船舶の特徴に関するヒアリング調査を行う。

##### ② 航海士のレーダ見張り時間間隔及びレーダ使用頻度の分析

本研究の応募者が海上技術安全研究所の操船リスクシミュレータで行った、航海士の見張り状況を明らかにする実験において、周囲に複数の船舶が存在する場合、航海士の行動データが蓄積されている。そこで、この航海士の見張り作業における行動データを用いて、レーダの使用時間や頻度を分析し、レーダによる情報収集に用いられる平均時間(継続してレーダ画面を観察している平均の時間)を明らかにする。

##### ①②から、レーダ ARPA による自動捕捉機能の現状と問題点を抽出し、かつ、今後の船舶画像抽出処理で扱うレーダのラスタ画像数を決定する。

#### (2) レーダ画像に含まれる船舶と考えられる画像の自動抽出アルゴリズムの構築

##### ① 画像処理の要素技術調査

レーダエコー画像の抽出や船舶画像の抽出に応用できる、画像処理及び画像構造解析の技術、また画像検索等の技術に関し、文献調査を行う。

##### ② 画像処理に用いるレーダ画像の収集

実船において、画像処理で用いるレーダ画像の収集を行う。収集するレーダ画像は、航海士が通常目にしていないレーダ画面、つ

まりレーダのラスタ画像である。レーダのラスタ画像収集と同時に、船上で収集できるレーダ ARPA の捕捉情報、AIS(Automatic Identification System)データや自船 GPS 情報等も合わせて記録する。

### ③船舶画像抽出アルゴリズムの構築

(1)①②で明らかにした航海士の見張り状況の特徴と、(2)①で調査した、画像処理技術を組み合わせ、船舶画像抽出アルゴリズムを構築し、(2)②で収集したレーダラスタ画像を用いて、船舶画像の抽出処理を行い、結果を示す。

### (3)船舶画像の抽出結果の評価

#### ①船舶画像群データの作成

連続したレーダ画像の観察により、船舶と考えられる画像を手動にて抽出し、正しい船舶画像の抽出結果データ(船舶画像群データ)として用意する。

#### ②船舶画像の抽出結果の評価

(3)①で用意した船舶画像群データと(2)③で示した画像処理による船舶画像の抽出結果の比較による評価を行う。船舶画像群データを事前に用意しておくことで、最も明確な評価指標である正解率を算出する。

#### ③評価結果の考察と改善策の検討

正解率等の評価結果を踏まえ、誤判定した画像の特徴を把握し、正解率を上げるための改善策の検討を行う。

## 4. 研究成果

### (1)レーダにおける見張り状況の現状

#### ①ヒアリング調査結果

操船実務経験のある航海士5名にヒアリング調査を行った結果、レーダによる情報収集において、ARPAの自動捕捉機能はほとんど使用されていないことが判明し、その理由としては、捕捉の必要のない物標が捕捉されてしまい、レーダのエコー画像が見えにくくなる点や、必要以上に捕捉解除の手間が増える点が挙げられた。また、ARPAによる他船動向の計算結果をすぐに参照したいという要望も明らかになった。

このヒアリング調査結果により、実用的なレーダの自動捕捉と追尾及び他船動向の計算は、あくまで航海士の目には入らないバックグラウンドで行い、航海士が情報を必要としたタイミング、具体的には、通常手動で捕捉するタイミングで、即座に他船動向の情報を提供する仕組みが有効であると考えられる。

#### ②航海士のレーダ見張り時間間隔及びレーダ使用頻度の分析結果

本研究の応募者が海上技術安全研究所の操船リスクシミュレータで行った、航海士の見張り状況を明らかにする実験において、周囲に複数の船舶が存在する場合の

航海士の行動データより、1回のレーダ操作にかかる平均時間は約19秒、レーダ操作から離れ、双眼鏡や目視による見張り、もしくはコンパスによる他船の方位変化の観察を行った後、再びレーダ操作に戻ってくるまでの平均時間は約84秒であることが明らかとなった。つまり、航海士が継続してレーダ画面を観察している時間は19秒程度であり、この時間内に、レーダ画面上の画像が船舶の画像かどうかの判断がされていると考えられる。したがって、レーダに含まれる画像の連続性を、船舶画像抽出アルゴリズムに組み込むためには、19秒程度の画像を連続して扱う必要があると考えられる。

### (2)レーダ画像に含まれる船舶と考えられる画像の自動抽出アルゴリズムの構築

#### ①画像処理の要素技術調査結果

レーダ画像には、レンジリングやARPA及びAISの捕捉シンボル、ゲイン等の調整情報や自船情報(針路、速力、緯度経度情報)等、物標からの反射による情報以外の画像が多数含まれる。そこで、まずは物標からの反射による画像(エコー画像)のみを抽出するため、基本的な画像処理(フィルタ処理やエッジ処理等)を用いることとした。また、船舶画像かどうかの判定には、一般的な画像検索の技術として用いられている、クラスタ分析を採用することとした。クラスタ分析を行うにあたっては、画像の特徴をパラメータとして扱う必要があるため、画像の構造解析(輪郭抽出や特徴抽出)が必要となる。したがって、本研究では、画像処理及び画像構造解析の機能を備え、かつ汎用性が高く、オープンソースライブラリであるOpenCV(Open Source Computer Vision Library)を利用することとした。ライブラリの利用により、画像処理等の処理時間短縮の効果も見込まれる。

#### ②画像処理に用いるレーダ画像の収集結果

実船において、画像処理で用いるレーダ画像の収集を行った。収集するレーダ画像は、大島商船高等専門学校練習船「大島丸」(全長:41m、総トン数:228トン)に搭載されている船舶用レーダ(Xバンド9GHz帯)により、瀬戸内海航行中に収集したレーダのラスタ画像である。ラスタ画像の収集と同時に、レーダARPAの捕捉情報、AISデータや自船GPS情報等も合わせて記録した。

#### ③船舶画像抽出アルゴリズムの構築結果

船舶画像の抽出処理を行うにあたり、レーダアンテナの1回転には3秒程度の時間を要するため、全ての画像範囲が更新される3秒に1枚のラスタ画像を扱うこととした。構築した船舶画像抽出アルゴリズムと評価の手順を図2に示すと共に、アルゴリズムの詳細について次に述べる。

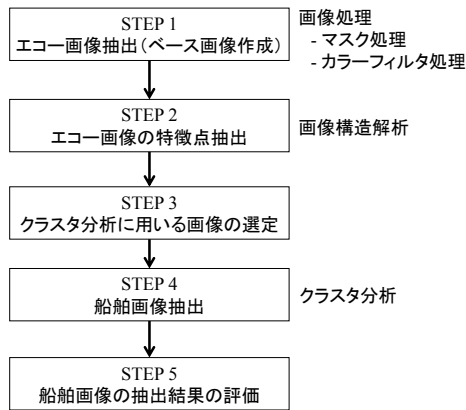


図2 船舶画像抽出アルゴリズム及び抽出結果の評価の手順

●STEP1 エコー画像の抽出

「① 画像処理の要素技術調査結果」で述べたとおり、レーダのラスタ画像には、物標からの反射による情報以外の画像が多数含まれる。そこで、マスク処理と色相に着目したフィルタ処理により、物標からの反射情報のみの画像（以降、ベース画像と呼ぶ）を抽出した。具体的には、まず、マスク処理により物標からの反射画像が含まれるレンジ内の画像を抽出し、次に色相の違いからレンジリングや捕捉シンボル等、物標からの反射ではない画像についてフィルタ処理を行った。しかし、色相によるフィルタ処理では、レンジリングや捕捉シンボル画像との重なりによる画像の欠損が起こると同時に、多くの雑音画像が残るため、最後に膨張縮小による雑音処理を行った。

実船にて収集したレーダのラスタ画像を図3、マスク処理の結果を図4、色相によるフィルタ処理の結果を図5、また膨張縮小による雑音処理後の結果（ベース画像）を図6に示す。

●STEP2 エコー画像の特徴点抽出

レーダ画像はあくまでピクセルの集まりであるため、つながりのあるピクセルをラベリング処理により同一の画像であるという認識をさせる必要がある。そこで、STEP1で作成したベース画像を用いて、画像の特徴点の一つでもある輪郭情報に着目し、つながりのある全てのピクセルに同一ラベルをつけるのではなく、まずは画像の輪郭情報を抽出し、抽出した輪郭に同一のラベルをつけることとした。これにより、ラベリング処理と輪郭及び輪郭から計算できる重心情報という特徴点の抽出を同時に行うことが可能である。

ラベリング処理の後、輪郭に同一ラベルの付けられたそれぞれの画像に関し、いくつかの特徴点を抽出する。レーダにおける陸上の画像は面積が大きいという特徴を持ち、海面反射の画像や偽像は反射強度が弱い場合が多く、連続して同じ場所に現れないという特

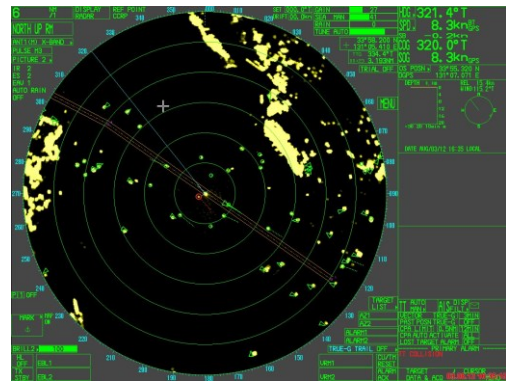


図3 レーダのラスタ画像

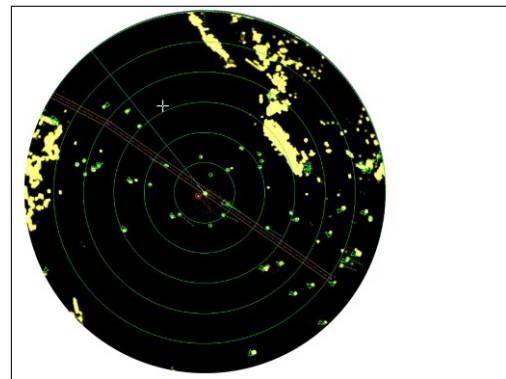


図4 マスク処理結果

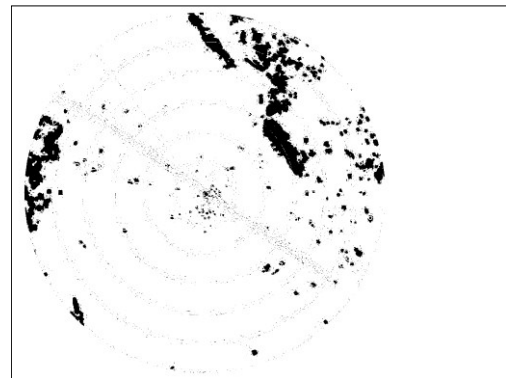


図5 色相によるフィルタ処理結果



図6 雑音処理結果（ベース画像）

徴がある。一方、船舶や浮標の画像は、比較的、円や楕円に近い形状をしており、ある一定の面積を有する。また、船舶は航空機に比べ、移動速度が遅いため、短時間での移動量が少なく、連続したレーダ画像を観察した場合、比較的近い場所に連続して現れる特徴がある。これらの基本的な特徴を考慮し、ラベリングされた個々の画像について、面積、輪郭の長さ、自船から画像重心までの距離、円相当径、凹凸度、包形幅・高さ、凸包数、重心明度を特徴点として抽出した。物標からの正確な電波反射強度は、ラスタ画像から得ることはできないが、同等の情報として、画像の重心明度を用いることとした。また、連続的に同一の場所に現れる画像の特徴を考慮するため、航海士の平均連続レーダ操作時間（19秒程度）を用いて、ベース画像の前後の画像も参照し、連続した3枚及び5枚の画像について、重心座標上の明度を積み上げた重ね合わせ明度（図7）も特徴点の一つとして扱うこととした。したがって、クラスタ分析では、これら9つの特徴点を用いる。

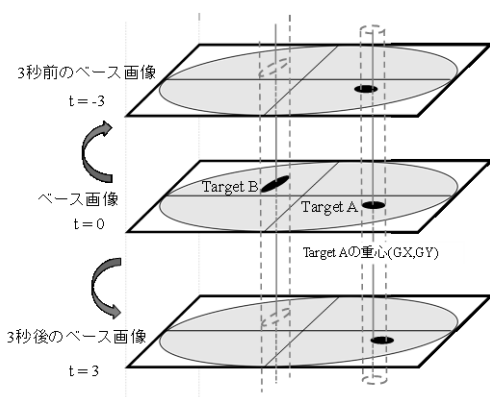


図7 重ね合わせ明度

- STEP3 クラスタ分析に用いる画像の選定  
STEP2 で抽出した特徴点のうち、まずは面積に着目し、船舶や浮標の画像に比べ、明らかに面積の大きい画像は、陸上の画像であると判断し、STEP4 のクラスタ分析の対象から外すこととした。また、レーダ電波の反射情報は、自船（レーダ画像の中心）から見て、最も近い部分が最も信用できる情報であると考えられるため、自船から見て、陸上として判断した画像の影となる範囲についても、クラスタ分析の対象から外すこととした。最終的に、クラスタ分析の対象とした画像について、各画像の9つの特徴点をまとめたデータテーブルを作成し、今後のステップに進んだ。画像の選定結果を図8に示す。
- STEP4 クラスタ分析による船舶画像抽出  
クラスタ分析は多変量解析手法の一つで、類似した性質（特徴パラメータ）を持つグループにデータを分類する方法である。そこで、STEP3 で選定した画像に関し、9つの特徴点を特徴パラメータとして、クラスタ分析を行

い、捕捉する必要がある画像、つまり船舶画像を抽出することとした。

クラスタ分析には大きく階層的と非階層的の2つの方法が存在するが、本研究では、分類するクラスタ数を最初から指定することが難しく、クラスタを形成するための基準を決めることも困難であったため、階層的クラスタリング手法を選択した。また、階層的クラスタリング手法の中でも、クラスタ形成の過程において外れ値に強く、実用的に使用され、最も明確なクラスタを作る特徴があるウェード法を選択すると共に、クラスタ間距離には、最小二乗距離を用いることとした。

分割するクラスタ数が少ない場合、例外的な特徴を強く反映したクラスタが形成され、クラスタに含まれる結果に大きな偏りが生じた。そのため、各クラスタの画像について特徴の分析を行いながら、クラスタ数を段階的に増やした結果、クラスタ数を6つとした場合、海面反射等の雑音画像を多く含む特徴的なクラスタを抽出することができた。したがって、6つのクラスタのうち、残りの5つのクラスタに含まれる画像を、レーダの捕捉対象（船舶画像）であると判定することとした。クラスタ分析の結果、船舶画像であると判定された画像について、図9に示す。

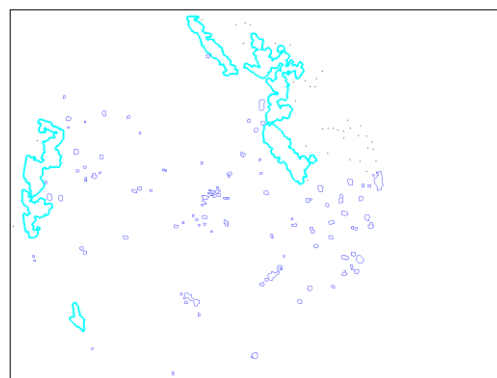
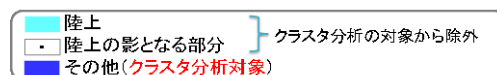


図8 クラスタ分析に用いる画像の選定結果

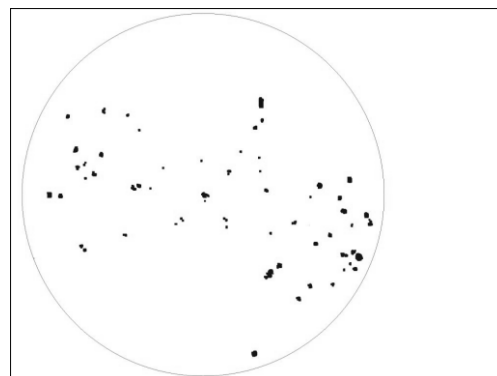


図9 クラスタ分析結果（船舶画像）

### (3)船舶画像の抽出結果の評価結果 (STEP5)

#### ①船舶画像群データの作成

本研究の応募者は、実習船による1年間の乗船経験及び第3級海技士(航海)の免状を有していることから、レーダ画像上に含まれる画像の選定を、ある程度正確に行うことができる。そこで、船舶画像の抽出結果の評価に用いるため、連続したレーダ画像を観察し、船舶と考えられる画像を手動にて抽出し、正しい船舶画像の抽出結果データ(船舶画像群データ)として用意した。

#### ②船舶画像の抽出結果の評価

①で用意した船舶画像群データと(2)③で示した画像処理による船舶画像の抽出結果を基にクロス表を作成し、適合率、再現率、F値、そして最も厳密な評価尺度である正解率による評価を行った。その結果、適合率は約99%、再現率は約80%、F値は約0.89、正解率は約83%であった。

#### ③評価結果の考察と改善策の検討

レーダのラスター画像を用いた画像処理及び画像解析により、面積、輪郭の長さ、自船から画像重心までの距離、円相当径、凹凸度、包形幅・高さ、凸包数、重心明度及び重ね合わせ明度という9つの特徴点を抽出し、それらを特徴パラメータとしたクラスタ分析を行うことで、船舶画像か、船舶以外の画像であるか約83%の画像を正確に判定することができた。誤判定したケースの大半は、レーダで捕捉の必要がない、つまり船舶ではない画像を、船舶画像として判定したものであり、捕捉が必要と考える船舶画像の大半を捕捉対象として判定することができた。

今後は誤判定した画像の傾向をさらに分析し、判定の精度を上げる工夫が必要である。また船舶画像の大部分がレンジリング等の画像に重なってしまった場合でも、捕捉が外れることなく判定するための処理を追加する必要があると考えられる。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① Chihiro NISHIZAKI, Yasuyuki NIWA, Motonobu IMASATO, Hisaya MOTOGI, A Method for Feature Extraction and Classification of Marine Radar Images, Proceedings of World Automation Congress 2014 (WAC2014): 9<sup>th</sup> International Forum on Multimedia and Image Processing (IFMIP2014), 査読有, 印刷中, 2014

[学会発表] (計1件)

- ① 西崎 ちひろ、レーダにおける船舶検出のための特徴抽出に関する研究、日本機会学会 第22回交通・物流部門大会 (TRANSLOG2013)、2013年12月10日、東京大学 生産技術研究所

### 6. 研究組織

#### (1)研究代表者

西崎 ちひろ (NISHIZAKI, Chihiro)

独立行政法人 海上技術安全研究所

運航・物流系 研究員

研究者番号：70570993