

PS-29 レーダにおける船舶検出を目的とした 画像特徴の抽出に関する研究

運航・物流系 *西崎 ちひろ、丹羽 康之
水中工学センター 今里 元信
大島商船高等専門学校 本木 久也

1. はじめに

船員不足や高齢化が進む中、少人数の当直においても見張りの精度を維持し、かつ航海士の負担を減らす対策が求められる。そのためには、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がされ使用頻度も高い、レーダによる見張りを自動化する工夫が有効と考えられる。しかし、レーダの使用状況について、操船実務経験のある航海士 5 名へヒアリング調査を行った結果、ARPA(Automatic Radar Plotting Aids)の自動捕捉機能は、現状ではほとんど使用がされていないことが判明した。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数含むと共に、船舶の画像かどうかの判断は、航海士の経験を有する。また、レーダ信号やレーダ信号から作成した画像の処理により、クラッタの除去や反射特徴の分析に関する研究^{1),2),3)}やレーダ目標の自動追尾に関する研究^{4),5)}等が行われているが、実用的な自動捕捉基準は確立されていないのが現状である。

そこで本研究では、レーダ画像の中から、見張りが必要な物標(画像)を安定して自動検出(捕捉)するための最初のステップとして、レーダ画像の特徴抽出と、それらの特徴を用いたクラスタ分析による捕捉対象画像の判定を行った。本研究は、レーダ信号処理ではなく、PPI スコープ(Plan Position Indicator Scope)のレーダ画像を一枚のラスタ画像として捉え、画像処理と画像解析によるアプローチを行った。

2. レーダ画像に含まれる画像の特徴抽出及び 特徴点に基づく船舶画像等の検出方法

2.1 使用するレーダ画像と画像処理ライブラリ

使用するレーダ画像は、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。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 枚のラスタ画像を処理の対象とした。また本研究では、画像処理(フィルタ処理やエッジ検出等)と画像の構造解析(輪郭抽出や特徴抽出)を組み合わせ

行うため、それらの機能を備え、かつ汎用性が高く、オープンソースライブラリである OpenCV を利用することとした。

2.2 画像処理による特徴点の抽出手順

収集したレーダのラスタ画像には、レンジリングや ARPA、AIS (Automatic Identification System) の捕捉シンボル、ゲイン・クラッターの調整情報や自船情報等、物標からの反射による情報(以後、反射情報と呼ぶ)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(以後、ベース画像と呼ぶ)を抽出する処理を行った。画像処理結果には、レンジリングや捕捉シンボルによる画像の欠損や、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。

ベース画像は、あくまでピクセルの集まりであるため、繋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。本研究では、処理時間の短縮を目的に、ベース画像から抽出した輪郭に同一ラベルを付け、ラベリング処理と輪郭及び重心座標情報の抽出を同時に行った。

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徴がある。一方、船舶や浮標の画像は比較的円形に近く、比較的近い場所に連続して現れる特徴がある。そこで、ラベリングされた個々の画像について、面積、輪郭の長さ、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ができないが、本研究では、反射強度と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、連続的に現れる画像の特徴を考慮するため、ベース画像の前後の画像を参照し、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(3 枚・5 枚)も特徴点の一つとして扱うこととした。

これらの特徴点の中で、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、

陸上画像であると判断し、今後の処理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、最も信頼できる反射情報であると考えられるため、自船から見て、陸上として判定した画像の影となる範囲についても、今後の分類作業の対象からは外すこととした。分類の対象となった画像について、各画像の特徴点をまとめたデータテーブルを作成し、クラスタ分析による画像の分類作業を行った。

2.3 クラスタ分析による画像の分類方法

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手法であり、画像の検索技術にも用いられる手法である。そこで、抽出した特徴点を特徴パラメータとし、クラスタ分析を行うことで、類似した特徴を持つ画像を分類し、捕捉対象画像かどうか判定を行った。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。

3. 画像処理及びクラスタ分析結果

画像処理を行う前のラスタ画像（原画像）を図-1に示す。マスク処理及び色相によるフィルタリング処理、また膨張縮小による雑音処理を行った時点で、レーダレンジや捕捉シンボルに100%重なる場合を除き、抽出すべき画像が全て残っていることを確認した。

次に、陸上及び陸上の影となる画像を取り除き、残った画像についてクラスタ分析を行った。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生成され、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検出することができた。従って、6つのクラスタの中、残りの5つのクラスタに関し、レーダの捕捉対象として判定することとした。クラスタ分析の結果、レーダの捕捉対象と判定された画像を図-2に示す。

本研究では、クラスタ分析の評価を行うため、事前にレーダ画像の時間変化を観察し、捕捉すべき画像及び捕捉の必要がない画像の分類を手動にて作成し、正しい画像の分類結果として用意した。クラスタ分析結果と、手動で作成した分類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、正当率は約83%であった。レーダで捕捉の必要がない画像（雑音）を捕捉対象として判定したケースも多く含まれているが、捕捉の必要があると考えられる画像の大半を落とさず判定することができた。

4. まとめ

レーダのラスタ画像を用いた画像処理から、面積、輪郭の長さ、重心までの距離、円相当径、凹凸度、包形の幅・高さ、凸包数、重心明度、重ね合わせ明度（3枚・5枚）という特徴点を抽出し、それらの特徴点を用いたクラスタ分析を行うことで、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画像を捕捉対象として判定したものであり、捕捉の必要があると考えられる画像の大半を捕捉対象として判定することができた。

謝辞

本研究は、科研費若手研究（B）（No.24760681）の助成を受けたものです。また、レーダデータ収集にあたり大島商船高等専門学校練習船大島丸の乗組員の方々に多大な協力をいただきました。この場を借りて深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 村井康二・河口信義・三好雄一，ウェーブレット変換によるレーダ受信信号の処理：海面反射除去，日本航海学会論文集，vol.90，pp.33-42，1994.3
- 2) 小塚孝徳・林尚吾・外岡幸吉・竹内毅，ARPAの性能を向上させるレーダ信号処理について，日本航海学会論文集，vol.95，pp.35-43，1996.9
- 3) 西崎ちひろ・今津隼馬・藤坂貴彦，レーダ画像処理に寄る船舶映像の抽出に関する研究，日本航海学会論文集，vol.121，pp.13-18，2009.9
- 4) 中嶋鮎子・庄司りり・大島正毅，レーダ画像を用いたフロー解析による船舶自動追跡，日本航海学会論文集，vol.113，pp.43-51，2005.9
- 5) Minh Duc NGUYEN・et al.，A New Approach to Automatic Radar Tracking with and without Supplementing AIS Data in Tokyo Bay，Japan Institute of Navigation，vol.119，pp.1-7，2008.9

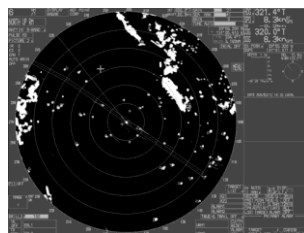


図-1 ラスタ画像
(原画像)

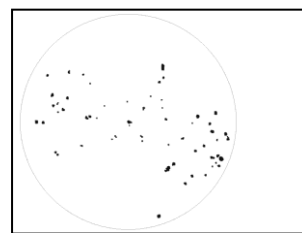


図-2 画像処理及び
クラスタ分析結果
(捕捉対象画像)