他船実画像からの航行情報抽出方法についての研究—Ⅲ. —画像処理専用機と特定線分抽出アルゴリズムを利用した高速化—

林 祐司*・若林 伸和**・北橋 忠宏***・和気 博嗣*

Extractions of Navigation Information from Images of Ships at Sea—Ⅲ. —Speeding up Ranging System Using Specially Designed Image Processing Machine and Algorithm—

Yuji HAYASHI, Nobukazu WAKABAYASHI,
Tadahiro KITAHASHI and Hirotsugu WAKE

Abstract

We have focused on image processing and understanding techniques for mechanization of ship operator's eyesight, and studied extraction of navigation information, especially the distance between a target and own ship, from an image of the target at sea.

In this paper, we describe Nexus Ranging System (NRS for short) which is speeding up ranging system using specially designed image processing machine "nexus-6800" and algorithm. NRS consists of nexus-6800, engineering work stations, an optical disk recorder and a video camera as the hardware. Images are fed into nexus-6800 by the video camera through the optical disk recorder. NRS processes the input image for binarization at first and edge detection. After putting away its noise, NRS extracts a horizon and waterline without a thinning process. Then, the coordinates (x, y) of the horizon and waterline are used for computing the distance by the ranging equations which have been reported in a series of the studies. NRS has processed 214 image and computed the distances. It is possible for NRS to measure the distances with the error rate less than 11 percent of radar distances. The accuracy is fine-grained enough for practical use.

1. はじめに

視程良好時の避航操船や港内操船における他船航行情報収集作業では、操船者はレーダではなく、自らの視覚から得られる情報に最大限の信頼を寄せる傾向があるということは、著者らの操船経験から推定できる。換言すれば、他船航行情報を最も必要とする切迫した危険に船舶が遭遇している状況下での情報収集については、操船者は自らの視覚が、その収集速度、種類および量に関して、より速く、より多く収集できると確信しているともいえる。著者らは船舶の自動避航操船の実現および操船者の仕事の負荷を軽減するために、このように優れた他船航行情報収集センサとしての操船者の視覚に対し、これに代替する可能性を持つと考えられる画像処理および画像理解技術により他船実画像から他船航行情報を抽出する研究⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾を続けている。本研究では nexus-6800 という画像処理専用機と特定線分のみを抽出目的としたアルゴリズムを利用して、より一層の高速化を目指した画像処理測距システムを提案する。

これまで、一般に行われている画像処理は、画像のすべての画素をその処理対象にする傾向があるが、処理対象画像の構図が一定であるという前提条件と、その画像より得ようとする情報が限定される場合、

* 正会員 神戸商船大学 (〒658 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

** 正会員 電気通信大学 (〒182 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1)

*** 正会員 大阪大学 (〒567 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1)

画像全体に渡って、最適な処理アルゴリズムは不必要となる。本研究の場合、処理対象画像の構図は空領域、船領域、海領域が順に、画面上部から垂直下向き方向に分布するものであり、それから得ようとする情報は、水平線、船首尾線および喫水線が連続する曲線（以下、水平線喫水線曲線という。）の座標値である。そのため、画像のすべての情報をその処理対象にする必要はない。このように水平線喫水線曲線のような特定の線分のみを抽出目的とする画像処理方法と抽出情報を測距に利用する測距方法を統合して、ここでは注目線分測距システムとよぶ。このシステムは、処理速度の向上と処理アルゴリズムの単純化および夜間に得られる赤外線画像を念頭において、カラー実画像をモノクロ濃淡画像に変換してその画像処理対象とする。

2. 画像データの収集と選択

2.1 データ収集方法

海上の船舶を対象に三管式ビデオカメラにより撮影を行い、この画像をオプティカルディスクレコーダを用い光ディスクにアナログカラー画像ファイルとして保存し、同時に、対象船舶の相対距離、相対方位、真針路および真速力などの ARPA データの収集と撮影時刻の記録を行った。この画像データおよび ARPA データ収集は 1992 年 3 月および 7 月の神戸商船大学所属練習船“深江丸”の延べ 10 日間の研究航海時に瀬戸内海および日本海西部において行われた。撮影は水平線が地理的に確保されており、視程良好で静穏な海面状態の海域において行われた。本実験で使用した機材は表 1 のとおりである。

2.2 画像の選択

研究航海中での深江丸船橋ウイング上から撮影され、オブティカルディスクレコーダにより光ディスクに保存されたアナログカラー画像ファイルの中から、以下の条件をすべて満たす画像を選択し、本研究の画像処理対象とした。

- ① 露出および焦点が適切で、ブレのない画像
- ② 対象船舶が画面のほぼ中央に位置している画像

その結果、画像処理対象となると判断された画像は31隻分の275ファイルであった。

3. 注目線分測距システム

3.1 画像処理装置とその環境

図1は注目線分測距システムの機器の構成を示す。このシステムは、画像処理専用機 nexus-6800 を核とし、これを制御するワークステーションとパソコンから成り立っている。そして、原画像および処理画

表1 画像および ARPA データ収集機材

- (1) 練習船深江丸
全長 49.95m
型幅 10.00m
総トン数 499 トン
最大速力 14.28ノット
- (2) ARPA
グループアトラス社 8600-ARPA
Xバンド(3cm波)使用
- (3) 三管式ビデオカメラ
IKEGAMI ITC-730A
- (4) レンズ
NIKKOR ED400 89mm
1:3.5
NIKKOR ED 50 10mm
- (5) オプティカルディスクレコーダ
Panasonic TQ-3100F
- (6) パソコン
NEC PC9801 NS/E

図1 注目線分測距システムの機器構成

像データ出力用には、神戸商船大学学内 LAN を介してカラービデオコピープロセッサが、原画像データ保存および供給用には nexus-6800 に直結されているオプティカルディスクレコーダが利用できる。また、処理画像データはオペレータの意志により、ワークステーション直結のハードディスクに保存したり、呼び出したりできる。

3.2 画像処理の手順

図 2 は画像処理の手順を示したものである。これまでの一般的な画像処理アルゴリズムは、エッジ検出→二値化処理→細線化といった順序であるが、注目線分測距システムの第 1 の特長は、最初に二値化処理を行うことである。この二値化処理はバンドパスフィルタの概念を用い、ある濃度値帯域に存在する画素のみを値 1 とし、その他の画素を値 0 とする方法である。具体的には、入力カラー原画像をモノクロ変換したモノクロ濃淡画像の X 軸のほぼ中央付近垂直方向の濃度値の変化を、縦軸に濃度値、横軸に Y 座標値で示した図 3 のグラフを基に、海領域の切り出しを目的に、海領域の濃度値の最大値と最小値付近の値を二値化処理の 2 つのしきい値として、二値化を行うことである。

第 2 の特長は、領域確保用の画像を加算して穴埋め処理を行い、その後、加算画像を減じて、必要な画像のみを残す方法にある。注目線分測距システムの場合、画像外縁のうち上辺を除く 3 辺を値 1 の連続した画素で構成する画像を加算することにより海領域全体にわたっての穴埋め作業が可能となり、海領域の切り出しを容易にしている。また、水平線喫水線曲線を保存しつつ空領域を切り出すには、空領域の濃度値の最大値と最小値をしきい値として二値化した画像に、海領域確保用の加算画像を 180° 回転した画像を加算し、穴埋め処理を行うことにより、空領域の切り出しが実現できる。

第 3 の特長は、穴埋め処理画像に対して、ノイズ除去後エッジ検出処理を行うことにある。これは二値画像に対するエッジ処理のため、細線化と同様の効果が得られ、あらためて細線化処理を行う必要はない。細線化処理が不用となれば、画像処理プロセスが 1 つ少なくなり、処理時間の短縮を可能にする。それと同時に、原画像情報をより忠実に保存することをも意味する。注目線分測距システムのように画像上での微小な画素間距離を測定する場合、細線化処理が不用であることは測定精度の向上に貢献するものと考えられる。

図 2 画像処理フローチャート

図 3 濃度値グラフ

図4～図10は、それぞれ入力画像、二値化画像、加算画像、穴埋め画像、雑音除去画像、エッジ検出画像および不用線分除去画像（水平線喫水線曲線画像）の出力例を示し、各プロセスの詳細は次のとおりである。

(1) 画像入力：

カラー画像ファイルを、オプティカルディスクレコーダより、nexus-6800へ入力し、Red (R)、Green (G)、Blue (B)それぞれ8ビット、256階調で512×480画素にデジタル化する。この時、ノイズの軽減をはかるため、画像を4回加算して平均をとる積分入力を行う。

(2) モノクロ画像変換：

取り込まれた256階調RGB画像データに対し、 $R:G:B=4:5:1$ の割合で、画像変換を行い、256階調モノクロ濃淡画像に変換する。

(3) 二値化：

海領域の抽出を目的とし、このモノクロ濃淡画像に対し、海領域の濃度値の下限と上限付近にしきい値をシステムオペレータが対話的に設定し、その帯域に濃度値が存在する画素の値を1、その他の画素の値を0として二値化する。ただし、この場合水平線喫水線曲線抽出を明確に行うことを二値化の最大の目的とする。

(4) 領域確保用画像の加算：

海領域の切り出し可能割合を向上させるために、図6に示す領域確保用画像を二値化処理画像に加算する。加算画像は、画像外縁のうち上辺を除く3辺を値1の連続した画素一列で構成する画像であり、同図では加算画像の概念を容易に理解できるよう、白黒反転して表示している。海領域の濃度値は、図3に示すとおり空領域のそれと比較して広く分布する。すなわち波の存在の有無により濃淡値は大きく変動することになる。そのため水平線喫水線曲線付近を明確に二値化するには、しきい値帯域を狭める必要が生じる。帯域を狭めることにより海領域全体が値1の画素に囲まれる閉領域を構成することが困難となり、後に続く穴埋め処理が海領域の一部にしかおよばず、効果的に行えない。これを防ぐために領域確保用画像を二値化処理画像に加算し、海領域全体をこれら3辺の一部分と水平線喫水線曲線とに囲まれる閉領域にすることができ、海領域の外縁を正確かつ容易に求めることが可能となる。

(5) 穴埋め：

海領域のノイズを除去するために、対象領域内の穴埋め処理を行う。穴埋め処理とは、値1を持つ画素に囲まれた閉領域内に存在するすべての画素の値を1に変換することをいう。これにより、海領域が連続した値1の画素領域となり、他領域からの切り出しが可能となる。

図4 入力画像の例

図5 二値化画像

図6 加算画像

図7 穴埋め画像

図8 ノイズ除去画像

図9 エッジ検出画像

(6) ノイズ除去：

海領域以外の領域、すなわち空領域と船領域のノイズを除去するために、海領域を構成する連続した画素数をしきい値として、それ未満の画素数で構成されている孤立および連続した値1の画素を除去する。

(7) エッジ検出：

3×3の微分オペレータを用い、海領域の輪郭線(エッジ)を抽出する。二値処理画像に対するエッジ検出であるから、同時に細線化と同様の効果を生じる。

(8) 不用線分除去(領域確保用画像の減算)：

画像の左右2辺と海領域輪郭線を構成する線分のうち、加算した領域確保用画像を減じる。その結果として、水平線喫水線曲線のみが抽出される。

図10 不用線分除去画像
(水平線喫水線曲線画像)

(9) 座標値出力：

水平線喫水線曲線を構成するすべての画素の座標値を画像座標原点より右方向および下方に向かって1つのシーケンシャルファイルとして出力する。

3.3 相対距離計算

画像処理により抽出された水平線喫水線曲線座標値ファイルを入力して、図11に示す処理の流れにより、測距計算を行う。まず、入力された水平線喫水線曲線座標値ファイルに対し、水平線構成画素、喫水線構成画素およびその他の画素に分離する。それらのうち、水平線構成画素に対しては最小自乗法により直線近似を行い、喫水線構成画素に対しては対象船舶が発生させた波により影響を受けやすい喫水線両端部を喫水線全長の $\frac{1}{6}$ の長さだけを左右の端点よりそれぞれ除去し、残った線分、すなわち対象船舶が発生させた波の影響を受けにくい船体中央付近で、喫水線全長の $\frac{3}{4}$ の長さ部分の画素を喫水線画素として抽出する。そして画像上の距離計算プログラムに水平線直線近似式と喫水線画素の座標値を入力し、各画素ごとに直線近似した水平線との距離を計算し、平均値を求める。その値を測距理論式¹⁾および画角法²⁾により構成される測距プログラムに入力して船舶間相対距離を算出する。

以上の画像処理および測距計算アルゴリズムにより、選択した275枚の画像データの77.8%にあたる214枚が画像処理でき、船舶間相対距離を求めることができた。また、処理速度はシステムオペレータのシステム取扱い習熟度に依存するが、1枚の画像に対して約3分であり、マウス測距システム³⁾の約6分と比較して、 $\frac{1}{2}$ の時間短縮が可能となった。

図11 相対距離計算のフローチャート

4. 相対距離計算結果と測距精度の考察

ARPA レーダ観測値には電波伝搬状態の変化等により種々の誤差が含まれるが、現時点では、極めてその精度が良好で真の距離値に近いと考えられるので、注目線分測距システムより得た船舶間相対距離値の精度を評価するために、ARPA レーダ観測値を真の距離値として使用する。また、測距精度を考察するために、測距誤差および測距誤差率を次のように定義する。

$$\text{測距誤差} = (\text{ARPA レーダ観測値}) - (\text{注目線分測距システム計算値})$$

$$\text{測距誤差率} = (\text{測距誤差}) / (\text{ARPA レーダ観測値})$$

図12は横軸にARPA レーダ観測値を、縦軸に注目線分測距システムの計算値をとり、214個のデータについてプロットしたグラフである。このグラフはARPA レーダ観測値が大きくなるに従って測距誤差も増大していることを示している。このことは測距理論式で示されているように、測距誤差が対象船舶までの距離すなわちARPA レーダ観測値の自乗に比例して増加することを実際のデータで裏付けていることにほかならない。図13は、縦軸を測距誤差率、横軸をARPA レーダ観測値として、214個のデータについてプロットしたグラフである。このグラフは、測距誤差率がARPA レーダ観測値の大小に関係なくほぼ一定のばらつきをしていることを示している。これら2つのグラフより、測距誤差はARPA レーダ観測値に比例して変化するが、測距誤差率はARPA レーダ観測値の大小には無関係で、ほぼ一定の範囲内にあるといえる。すなわち、測距精度は測距誤差から評価すると、ARPA レーダ観測値の増加に従って劣化するが、測距誤差率の観点からは、ARPA レーダ観測値の大小には無関係に、ほぼ一定の範囲内にあり、安定した精度で測距が可能であるといえる。なお、214枚の画像データに対し注目線分測距システムの測距誤差率の絶対値百分率は平均で11.0%であった。

表2はARPA レーダ観測値と注目線分測距システム計算値の回帰分析結果である。 R^2 の値より、

ARPA レーダ観測値と注目線分測距システム計算値は強い相関を示していると判断できる。また 214 個のデータについての回帰式は、 $y=x$ の式に極めて近い x の係数および y 切片の値を示している。

図 12、図 13 および表 2 の結果から総合的に判断して、注目線分測距システムの測距精度は、眼高の変化にともなう視程の変化にも依存するが、水平線までの距離において、熟練航海士の目視による測距⁽⁴⁾⁽⁵⁾に代替するのに十分な測距精度であるといえる。したがって、他船舶の避航等に使用目的を限定すれば、その測距誤差率は十分に小さく、実用上問題はないと考えられる。

図 12 注目線分測距システム計算値

図 13 測距誤差率

5. 結 論

本研究の特長を要約すると次のとおりである。

- (1) 船舶間相対距離を算出する高速化システムとして、注目線分測距システムを作成した。マウス測距システムの処理時間と比較して $\frac{1}{2}$ の時間短縮となった。
- (2) 注目線分測距システムの測距誤差率の絶対値百分率の平均は 11.0% であった。この測距精度は、他船舶の避航等に使用目的を限定すれば、水平線までの距離においては、その測距誤差率は十分に小さく、実用上問題はない。

今後の課題として、画像処理が可能な割合を向上させるため、処理不能画像に対し、そのカラー原画を処理する必要がある。そして、HLS 変換方法⁽⁹⁾および色彩距離変換方法などを用いるアルゴリズムを構築する必要がある。また、処理速度を向上させるため、二値化処理における海領域の濃淡値の上限および下限付近のしきい値算出の自動化が必要となる。これにより各処理の一括自動処理が可能となり処理速度は飛躍的に向上するものと考えられる。

表 2 注目線分測距システム計算値の回帰分析結果

ARPA観測距離 (714)	回帰式	R ²	データ数
0.0~1.0未満	$y = 0.8604 x + 0.0626$	0.8245	62
0.0~2.0未満	$y = 1.0650 x - 0.0756$	0.9115	96
0.0~3.0未満	$y = 0.9873 x - 0.0180$	0.8714	187
全データ	$y = 0.9379 x + 0.0417$	0.8417	214

参 考 文 献

- (1) 林 祐司：他船実画像からの航行情報抽出方法についての研究、日本航海学会誌、第107号、pp.80—88、1991.3
- (2) 林、若林、和気：他船実画像からの航行情報抽出方法についての研究—Ⅱ、日本航海学会論文集、第85号、pp.143—151、1991.9
- (3) 石村、林、笠原、和気：航海自然画像の領域分割に関する基礎研究、日本航海学会論文集、第88号、pp.259—268、1993.3
- (4) 長畑 司：海上における遠近感と目視距離、日本航海学会論文集、第66号、pp.47—55、1982.2
- (5) 長畑 司：あいまい情報と海上における目視距離の確率的推定、海技大学校研究報告、第24号、pp.1—14、1981.3

質 疑 応 答

今津隼馬(東京商船大学)：①海領域内に船領域が存在した場合、海領域内を穴埋めするのは不適當ではないか。②水平線までの距離は温度等の気象、海象の影響を受けると考えられるが、それらに対する対応はどのようにしたか。

林 祐司：①本研究の対象となる画像の構図は空領域、船領域、海領域が画面上部から垂直下向き方向に分布するものである。船領域が海領域に一部分包含される場合、換言すれば、画像上部から垂直下向き方向に空領域、船領域、海領域、船領域、海領域というように分布する画像の場合は、本論の処理アルゴリズムで処理可能である。また船領域が海領域にすべて包含される場合は、眼高を下げることで本論の対象となる画像の構図にすることが可能となり、注目線分測距システムの処理対象となる。

②自船から水平線までの水平方向の気象、海象要素の計測は容易でない。また仮に測距式の変数としてそれらの要素を用いたとしても、測距精度の向上には大きく寄与しないと考えられる。

長澤 明(海上保安大学校)：他船針路情報のリアルタイム抽出可能性についてはどうか。

林 祐司：船舶間相対距離の算出が可能となれば、船舶の喫水線からのマスト高さ、または船橋高さが計算でき、その高さから船の長さが推測できる。推測した船の長さと言像上で計測した船の長さを比較して、アスペクトアングルが計算できる。それに航跡等の画像上の情報を利用することにより他船真針路を推定することが可能となると考えられる。