他船実画像からの航行情報抽出方法についての研究—Ⅱ.

林 祐司*・若林 伸和**・和気 博嗣*

Extractions of Navigation Information from Images of Ships at Sea—Ⅱ.

Yuji HAYASHI, Nobukazu WAKABAYASHI and Hirotsugu WAKE

Abstract

In an experimental automatic navigation system, an ARPA is currently employed as a sensor to obtain navigation information about ships in the radar visibility. Consequently the ARPA is expected to have an equivalent capability to ship operator's eyesight. Some researchers are engaged in developing such an advanced ARPA. However, the advanced ARPA alone can not assure high reliability, simply because it gives us only a single kind of sensor information. From this point of view, we have focused on image understanding techniques for mechanization of ship operator's eyesight, and studied an extraction of navigation information from an image of a ship at sea.

In last paper, we described 1) a derivation of theoretical equations for calculating the distance between a target and an own ship using a position of a horizon and 2) a verification of their efficiency with Digitizer Distance Measuring System(DIMS).

As the next step in developing a practical system, we have implemented semiautomatic distance measuring system, Mouse Distance Measuring System(MOMS). MOMS consists of an engineering workstation (EWS) and an image scanner as the hardware. An input image is fed into the EWS by the scanner and processed for edge detection, binarization and thinning. The coordinates (x, y) of important points are, then, extracted from the processed image on the display by clicking the mouse. In this paper, we explain MOMS in detail and that its accuracy is enough in some practical situations.

1. は じ め に

現在の船舶自動航行システムは他船航行情報獲得のためのセンサとして ARPA を使用しているものが一般的である。そのため ARPA に航海士の視覚と同等、もしくはそれに近い能力を付加したシステムの開発が試みられているが、現時点では実用に至っていない。たとえそのような船舶自動航行システムが完成したとしても、自動航行の中核ともいえる他船航行情報獲得のためのセンサとして一種類のみを利用するということはシステムとして脆弱であろう。

そこで筆者らは、航海士の視覚に代替するものとして画像処理および画像理解技術に着目し、これらを用いて他船実画像からの航行情報抽出についての研究を行い、実用システムの構築に必要な技術開発を進めている。そこで実用化の第一段階として、船舶間相対距離の測距理論式と画像上の必要な点の座標値入力にデジタイザを用いた測距システム（以下、デジタイザ測距システムという）を提案した⁽¹⁾。この研究では、他船航行情報獲得のための基本となる情報は、船舶間相対距離であるという考えのもとに、自船と対象船舶までの相対距離算出の測距理論式を導出し、海上の他船を撮影した148枚のスチル写真を対象としてその理論式の有効性についての確認を行った。その結果、計算値と ARPA 観測値とを比較して、平均10.0%の測距誤差率（後に定義する）で測定

* 正 会 員 神戸商船大学（〒658 神戸市東灘区深江南町5-1-1）

** 学生会員 大阪大学産業科学研究所（〒567 大阪府茨木市美穂ヶ丘8-1）

255)の平均を求めることによって、画素数を取り込み画像の縦横1/2の画素数にする。その結果、処理対象となる画像は大きさが(1048×720)または(1080×752)の画素数で濃度値0～255の白黒256階調の濃淡画像である。また、取り込み画像は前報で測距理論式の有効性確認に使用したものと同一のステル写真でデータ数は148である。

2.2.2 ワークステーション

作業目的に応じて処理速度の異なる2機種を使用する。

- (1) SONY NEWS NWS-1830 (CPU: 68030 × 1 (25 MHz), MIPS 値: 約5.3)

カラーイメージスキャナと GP-IB 接続し、主に画像取り込みに使用する。

- (2) OMRON LUNA 88-K (CPU: 88100 × 4 (25 MHz), MIPS 値: 約112)

高速演算が可能のため、おもに画像処理および測距計算に使用する。

2.2.3 MO ディスクユニット

ワークステーションと SCSI 接続し、入力画像データおよび処理画像データの保存用に使用する。

2.3 処理の流れ

図3に画像入力から計算結果出力までの処理の流れを示す。まず、ステル写真を画像として入力し、その濃淡画像に対して、エッジ検出を行った後、二値化処理、雑音除去および細線化処理を実施する。この細線化処理を行った画像に対して、マウスを使用して必要線分上の任意の数点をクリックすることによりそれらの座標値を入力する。その数点の座標値から最小自乗法を用いて線分の直線の式を求める。そして、それらの直線の式を用いて水平線両端点およびフレームの対角にある2頂点の座標を求める。マウスをクリックすることにより得た数点の喫水点(喫水線上に存在する点)の座標値の個々について、測距理論式により自船と対象船舶間の相対距離を算出し、その平均を求めて計算結果として表示する。

2.4 画像処理方法

2.4.1 エッジ検出

画像の中で明るさが変化している部分をエッジと呼ぶが、ここでは局所領域内で画素の明るさの差をとる差分型オペレータの Sobel オペレータ²⁾を用いて微分を行う。すなわち図4の濃度値を持つ画素

(i, j) の3×3近傍で微分値は

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$$

で定義され、これはエッジ要素の強度を表している。このとき、水平方向の微分値は、

$$S_x = (a_2 + 2a_3 + a_4) - (a_0 + 2a_7 + a_6)$$

垂直方向の微分値は、

$$S_y = (a_6 + 2a_5 + a_4) - (a_0 + 2a_1 + a_7)$$

である。上式で計算した結果を256階調に線形変換し、それを微分画像データとしてファイルに出力する。図5が入力画像、図6がエッジ検出した画像の例である。

図2 マウス測距システムの装置の構成

図3 処理の流れ

a_0	a_1	a_2
a_7	(i, j)	a_3
a_6	a_5	a_4

図4 画素 (i, j) とその8近傍

図5 入力画像の例

図6 エッジ検出した画像の例

図7 細線化処理した画像の例

残し，4画素のうち1個以上の白画素（濃度値0）があれば黒画素（ i, j ）を濃度値0として白画素に変換する方法である。

2.4.3 細線化処理

広がりのある図形をその芯線（中心線）に相当する線図形に変換する処理を細線化というが，ここでは黒画素領域に Hilditch による細線化を行う。Hilditch の方法は連結性を8連結法で行う。すなわち図4の黒画素（ i, j ）の8近傍の画素 $a_0, a_1, \dots, a_7$ がすべて黒画素であれば黒画素として残し，8画素のうち1個以上の白画素があれば黒画素（ i, j ）を白画素に変換する方法である。これを繰り返して行って芯線を求める。そして，この結果を細線化画像データとしてファイルに出力する。図7が細線化処理した画像の例である。

図8 計算入力座標点

2.4.2 二値化処理

各画素の濃度値と任意に設定したしきい値の大小関係によって画素の値を0または1のいずれか二値に変換する処理をしきい値による二値化処理というが，ここでは微分画像データの濃度値60以上を1，59以下を0とする固定しきい値法により二値化し，雑音除去した後，二値化処理画像データとしてファイルに出力する。雑音除去は黒画素孤立点除去の操作を4連結法⁽³⁾で行う。この4連結法とは，図4のように黒画素（ i, j ）の3×3近傍で a_1, a_3, a_5, a_7 の4方向の画素のうち，すべてが黒画素（濃度値1）であれば黒画素（ i, j ）を濃度値1の黒画素として

2.4.4 各点の座標値入力

細線化によって得られた画像データをX Window 上に表示し，線分上の適当な点にマウスカーソルを移動させ，マウスボタンを左クリックすることによりその位置の座標データをファイルに出力する。クリックはマウスカーソルを移動させることで，1本の線分に対して何点でも可能であり，次の線分上の点を入力する前にマウスボタンを右クリックすることにより特定の符号（ここではDATA という文字列を用いた）をターミネータとして同じファイルに出力する。この操作を繰り返し，最終的に距離計算に必要な画像フレーム内側の4辺と視水平線1本の合計5本の線分

のそれぞれにつき数点の座標データがターミネータをはさみ1つのファイルとして出力される。

2.4.5 距離計算処理

得られた5本の線分の座標データを最小自乗法により直線近似し、それぞれの直線の式を求める。これら5つの式を用い図8に示す距離計算に直接必要な4点 U, L, HL, HR の座標値を求める。それらの4点を用いて、同様にマウスクリックによって入力した個々の喫水点ごとに測距理論式に基づいて距離計算を行い、それら計算結果の平均値をもって計算距離結果とする。

2.4.6 各過程の処理時間

表1に各過程の処理時間としての CPU TIME と実質処理時間を示す。画像入力には SONY NEWS NWS-1830を、その他の処理には OMRON LUNA-88 K を使用した。その結果、実質処理時間の合計は1枚の画像に対して266秒であった。しかし画像入力から計算結果出力までの総処理時間は、各座標点の入力時間(約30秒)およびファイル転送時間等の処理時間が加算され約6分となる。

表1 各過程処理時間

	CPU TIME (秒)	実質処理時間 (秒)
画像入力		210
エッジ検出	21.74	30
二値化処理	3.20	4
雑音除去	4.76	5
細線化処理	15.64	16
距離計算処理	0.35	1
合計時間		266

3. マウス測距システムの測距誤差

3.1 使用画像データ

マウス測距システムの対象とした画像データは前報で使用した画像データと同一のもので、1990年7月25日から同月27日に紀伊水道南方および播磨灘において、水平線が地理的に確保されており、視程良好で比較的静穏な海面状態の海域において撮影された420枚のステル写真のうち

- (1) 適切なシャッタースピード、露出および焦点で撮影されている。
- (2) 視水平線が明瞭に映し出されている。
- (3) 写真の中央付近に船体全体が映し出されている。

の3つの要件を具備していると判断された148枚のステル写真である。ネガにはライカ版、プリントにはキャビネ版を使用した。

3.2 マウス測距システム計算値と ARPA 観測値

3.2.1 計算値と観測値

図9に ARPA 観測値の増減に対するマウス測距システム計算値の変化を示す。同図は縦軸にマウス測距システム計算値を、横軸に ARPA 観測値をとって、148枚の写真データについての計算値と観測値でプロットした

図9 マウス測距計算値と ARPA 観測値

図10 測距誤差率と ARPA 観測値

表2 マウス測距計算値の回帰分析

ARPA観測値 (マイル)	回帰式	R ²	標本数
0.0以上 1.0未満	$y = 0.93339x - 0.0245$	0.9351	45
0.0以上 2.0未満	$y = 0.9405x - 0.0315$	0.9093	98
0.0以上 3.0未満	$y = 1.1042x - 0.1683$	0.8740	131
0.0以上 4.0未満	$y = 1.0519x - 0.1051$	0.8706	143
0.0以上 5.0未満	$y = 0.9842x - 0.0196$	0.8627	147
全データ	$y = 0.9536x + 0.0216$	0.8546	148

グラフである。図中の直線はこれらの全データについての回帰直線である。また表2は観測値を1マイル未満, 2マイル未満, …と増加させ, 標本数を増やした時の回帰分析の結果である。

なお, ARPA 観測値とは深江丸に装備された ARPA (クルップアトラス 8600-ARPA, 3 cm 波使用) を用いて, ターゲットの自動捕捉により 相対距離を観測した値である。

3.2.2 測距精度の評価

本稿において画像より得た距離情報の精度を考察するために比較対象として ARPA 観測値を用いるが, ARPA 観測値にも種々の誤差が含まれている。しかし, 現段階においては, 画像距離情報と比較して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, ARPA 観測値を真の距離値として使用する。よって ARPA 観測値とマウス測距システム計算値の差を測距誤差, また測距誤差の ARPA 観測値に対する割合を測距誤差率と定義する。

$$\text{測距誤差} = (\text{ARPA 観測値}) - (\text{マウス測距システム計算値})$$

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

これらの定義を用いて, マウス測距システムの測距精度について考察する。

図9から ARPA 観測値の増加に従って測距誤差が増加していることがわかる。このことは, 測距精度が ARPA 観測値の増加に従って劣化するように思わせる。しかし, 縦軸に測距誤差率を, 横軸に ARPA 観測値をとってプロットした図10は, 測距誤差率が ARPA 観測値の増減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。この2図より, 測距誤差は ARPA 観測値の増加に従って大きくなるが, 測距誤差率は ARPA 観測値の増減には無関係で, ほぼ一定の範囲内にあるといえる。そしてマウス測距システム全データの測距誤差率絶対値の平均は0.139 (13.9%) である。

表2の回帰分析結果のうち, 全データについての分析は, R^2 の値より ARPA 観測値とマウス測距システム計算値について強い相関を示していると判断できる。またこの両者の測距精度が同等であれば理論上の回帰式は $y = x$ 上にデータが一致するはずであるが, 全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。このことは眼高 h の変化にともなう視程の変化にも依存するが, 視水平線までの距離において, その測距精度は熟練航海士の視覚に代替するのに十分な測距精度であると推定できる。また船舶間相対距離観測等の使用目的に限定すれば, 視水平線までの距離の 1/2 付近ではその測距誤差は十分に小さく, 実用上 ARPA 観測値に匹敵するものと考えられる。

図11 マウスおよびデジタイザ測距計算値と ARPA 観測値

3.3 デジタイザ測距システム計算値との比較

図11にマウス測距システム計算値とデジタイザ測距システム計算値との測距精度の比較を示す。同図は縦軸に両者の距離計算値を、横軸に ARPA 観測値をとったもので、148枚の写真データについて両者の計算値と ARPA 観測値でプロットしたグラフである。同図から、ARPA 観測値に対する両者の計算値のばらつきの傾向が視水平線までの距離の1/2以近では極めて類似しており、1/2以遠では前者の方が大きくなることがわかる。しかし ARPA 観測値の増加に対する計算値の頭打ち傾向は後者の方が早く始まっている。このことは細線化することにより、デジタイザ入力に対してマウスクリックによる座標値入力の方がより精度よく行われていることを示している。

全データについての測距誤差はデジタイザ測距システムが0.100 (10.0%) とマウス測距システムと比較してその値は小さい。このことは画像の垂直方向の画素数の差によるものと考えられる。すなわち使用したデジタイザの入力精度は0.1 mm であり、その垂直方向の画素数は約1200と推定される。一方、マウス測距システムの垂直方向の画素数は720または752であり、その画素数の差が測距誤差の差に影響を及ぼしているものと考えられる。表3にマウス測距システムとデジタイザ測距システムとの測距精度に関する一覧を示す。

表3 マウスおよびデジタイザ測距システムの測距精度

	マウス測距システム	デジタイザ測距システム
処理画像の画素数	1048×720 1080×752	約1700×1200
測距誤差率(百分率)	13.9%	10.0%
全データの回帰式	$Y = 0.9535X + 0.0216$	$Y = 0.8420X + 0.1255^{(1)}$
R ² 値	0.8546	0.9096 ⁽¹⁾

4. マウス測距システムの問題点

マウス測距システムはデジタイザ測距システムを自動化に向けて一歩進めたものであるが、完全自動化を目指す上で次のような問題点を有している。

(1) 測距精度と処理時間

画像垂直方向の画素数が測距精度に影響を及ぼすことは、デジタイザ測距システムとマウス測距システムとの測距誤差から推定できる。すなわち垂直方向の画素数が増加すれば測距精度が向上する。しかし画素数が増加すれば画像処理時間が増加するので、この両者のトレードオフを解決する必要がある。そのためには、まずマウス測距システムの使用目的を限定し、その目的にかなう必要かつ十分な測距精度を定める必要がある。その結果、

測距精度を満足する画素数が必然的に決定される。

(2) 画像入力方法の改良

マウス測距システムの総処理時間は1枚の画像につき約6分であるが、その大半は画像入力時間である。この画像入力時間は画像の大きさと取り込み線密度に依存しているが、イメージスキャナを使用する限り大幅な処理時間の短縮は期待できない。そこで時間短縮には次の3つの方法が考えられる。

- ① CCD カメラから光ディスクレコーダ（例えば Panasonic TQ-3100 F）に画像をビデオレート速度で取り込み、A/D 変換後ワークステーションへオフライン入力する。
- ② CCD カメラより直接アナログ RGB 信号を取り出し、A/D 変換後ワークステーションへオンライン入力する。
- ③ CCD カメラより直接デジタル RGB 信号を取り出し、ワークステーションへオンライン入力する。

(3) より多くの航行情報抽出のための画像処理方法の改良

より多くの航行情報抽出のためには、画像の前処理、雑音除去および画像処理の各過程のアルゴリズムの改良により、より鮮明な細線化画像を得る必要がある。また R, G, B の色値を利用することにより、二値化で失ったより多くの航行情報を抽出する必要がある。

(4) 処理の高速化

画像処理専用機を導入することにより、高速化および複数の画像の同時処理を可能にし、画像間の差分を求めることにより、より高精度の航行情報を得ることが出来るものと考えられる。

(5) 高精度の地上気差改正と測距実用式の導入

地上気差を改正するために、測距理論式では標準大気状態を前提として1/13というビオの値を使用し、その値を比列配分して改正値としているが、気温・気圧等のパラメータを導入して、より高精度の改正を行う必要がある。また、視水平線付近の測距精度を改良するため、視水平線付近に存在する船舶に対しては回帰式を利用した測距実用式の導入が必要であると考えられる。

5. 結 論

今回の研究で、次のような知見が得られた。

- (1) 半自動画像処理測距システムのマウス測距システムが実現した。このシステムは、カラーイメージスキャナ、ワークステーションおよび MO ディスクユニットより構成されるハードウェアを使用する。
- (2) マウス測距システムの測距誤差率は、13.9%で、使用目的を限定すれば実用上十分な測距精度を持つ。また、画素数の大幅な低下にも関わらず、マウス測距システムの測距誤差率はデジタル測距システムの値10.0%と比較して、少ない劣化で抑えられた。
- (3) マウス測距システムの総処理時間は、1枚の画像につき約6分である。そして、総処理時間の大半を占める画像入力の改良により、処理時間を大幅に短縮できる可能性がある。また、マウス測距システムは、デジタル測距システムと比較して操作性に優れ、特に視水平線付近の喫水点座標の抽出が、より精度よく実行できる。

謝 辞

今回の研究を行う上で、貴重な御意見をいただいた大阪大学産業科学研究所北橋忠宏教授に深甚なる謝意を表します。

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
- (2) Ramakant Nevatia：人工知能・コンピュータビジョンのための画像認識と画像理解—視覚的マシン知覚—，pp. 115-128, 啓学出版, 1986
- (3) 塩野充：BASIC 画像処理プログラム150選，pp. 24-25, pp. 123-125, オーム社, 1988
- (4) 田村進一：FA のための画像処理技術，pp. 98-101, 工学研究社, 1988

質 疑 応 答

今津隼馬(東京商船大学)：①使用した写真は、情報抽出に適した写真のように思われますがどのような状況の写真でも解析可能でしょうか。また、②航行情報抽出として相対距離のみが述べられましたが、今後はどのような情報抽出を考えられていますか。

林 祐司：①写真撮影総数420枚のうち148枚を使用しました。その選択基準は3.1使用画像データに示したとおりです。②相対距離をベースにターゲットの真針路、真速力の算出はもとより、船体の大きさ、船種および航法の推定など、知識ベースをもとに船長、航海士が航海当直中に行う判断を実行できるエキスパートシステムの開発を目標としています。

林 尚吾(東京商船大学)：③アスペクトアングルの異なる船舶に関する実験結果についてはどうですか。また、④精度的な測距の限界はどのくらいでしょうか。

林 祐司：③処理した148枚のステル写真は、アスペクトアングルの異なる船舶が対象となっています。また、アスペクトアングルが現時点での画像処理および視水平線と喫水線の抽出に直接影響を与えることはないものと考えます。④理論的には1画素単位までの測距が可能です。視水平線の直線の式を最小自乗法で求めているため1画素未満まで計算可能です。また1画素の大きさが相対距離に占める割合は視水平線で最大になる。例えば、画素数が 1048×720 の画像に対して視水平線と喫水点間隔の真値が1画素の時、これを2画素と計測した場合、計測誤差1画素が相対距離に及ぼす影響は、眼高6.00mでは真値2.92マイルのところ2.62マイルとなり、誤差が0.30マイルで誤差が真値に占める百分率は10.3%と大きなものになります。また、本論中で述べたようにマウス測距システムの測距誤差率は百分率で13.9%です。