船影探索に関する研究

稲石 正明 * ・ 足立 浩一 *
山下 千春 * ・ 杉崎 昭生 *

Search for Signs of a Ship

Masaaki INAISHI, Kouichi ADACHI,
Chiharu YAMASHITA and Akio M. SUGISAKI

Abstract

The authors had developed picture recognition lookout support systems using neural networks. Clear picture, which is taken by reasonable photo-scale and correct bearings of the exposure axis, is indispensable to improve the recognition accuracy.

This paper concerned with search for signs of a ship using a genetic algorithm. A problem of matching signs of a ship for a model figure is regarded as a problem of search for maximum matching ratio in 5-dimensional parameter space (position, aspect, scale and rotation angle). And the problem of search for maximum value is solved by the basic genetic operations (selection, two points cross-over, mutation). A genotype corresponded to the 5-dimensional parameter space is 29 bit sequence and population size is 30. The genetic algorithm input data is a binary picture which is converted color navigational environment picture. The model figure is adopted a square.

Characteristics of the genetic algorithm output is analyzed and a possibility of search for signs of a ship is investigated.

1. はじめに

船舶運航者の見張り任務は、運航の安全を確保するための重要な役割を果たしている。著者らは、画像認識・理解による見張り支援システムの構築を目指して、航海環境画像からの情報の収集が可能なプロトタイプの画像認識ニューラルネットワークシステム^{(1),(2),(3)}の構築を行った。計算機を用いた画像認識や画像理解によって、見張り任務中の監視機能⁽²⁾を支援するために必要なシステム機能を図 1 に示す。人間の情報抽出の過程と符合して、最初に航海環境を撮影した航海環境画像に、状況の認識や理解に必要な認識対象物（船舶、航路標識など）が撮影されているかどうかの判断を行わなければならない。認識対象物が撮影されている場合、画像認識による収集情報の精度は画素数に左右される⁽²⁾が、撮影装置

図 1 監視支援機能

*正会員 東京商船大学 (〒135 東京都江東区越中島2-1-6)

の画素数は有限であるため、認識対象物などをなるべく大きく撮影し、鮮明な画像を認識のための入力画像とする必要がある。画像認識に適した画像を得るには、撮影の際の視点設定と撮影範囲の設定が重要な問題となる。視点と撮影範囲を設定して撮影された認識用の画像は、画像処理およびニューラルネットワーク等による画像認識が行われ、認識結果をもとに状況の認識・理解を行い、見張りの支援を行う。

本研究は、認識対象物として船舶を選び、撮影の視点設定に必要な船影の探索を遺伝的アルゴリズム⁽⁴⁾を用いてモデル図形と航海環境画像のパターンマッチング⁽⁵⁾により行う。探索能力、探索時間などについて考察を加え、船影探索の可能性と問題点を明らかにするものである。

遺伝的アルゴリズムとは、生物進化（選択淘汰、突然変異）の原理に着想を得た探索、学習、最適化の一手法である。計算機内に遺伝子をもつ仮想的な生物（個体）集団を設定し、それらの生物の世代交代シミュレーションによって生物を進化させ、ある環境における生物適応度の最大値探索問題における実用解（最適解とは限らない）を得るものである。船影の探索を、設定したモデル図形を航海環境画像中の船影と重ねたとき、最も重なるときのモデル図形の重心の座標、モデル図形を変形させるアスペクトと拡大率およびモデル図形の回転角度を求める問題と考える。すなわち、位置、アスペクト、大きさおよび回転角度が不明な変形モデル図形と船影のマッチング処理を5次元パラメータ空間における最大値探索問題としてとらえる。航海環境画像には多くの船影以外の情報（本研究では、船影以外の画像上の情報をノイズと呼ぶ）を含むなどの悪条件により、従来の図形抽出処理（例えば、Hough変換など）を用いた探索が困難であるため、本研究では遺伝的アルゴリズムを採用することとした。

2. パターンマッチング

2.1 マッチング率

船影はアスペクト、相手船までの距離、船体形状などによって幾何学的な形状が大きく異なる。船影に対するモデル図形としては、これらの要因の影響をモデル図形の変形方法で対応でき、さらに撮影の範囲を設定するのに好都合な正方形（画素単位で128×128の大きさで、画素数は $n=508$ ）を採用した。

モデル図形の画素座標を次のように与える。

$$P = \{p_1(x_1, y_1), p_2(x_2, y_2), \dots, p_n(x_n, y_n)\} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、各点 p_i ($i=1, 2, \dots, n$) の x, y 座標 (x_i, y_i) は、モデル図形 P の重心を原点とする相対座標で表す。モデル図形の重心を x, y 絶対座標の (X_{Gk}, Y_{Gk}) に重ね、 Θ_k だけ回転し、 y 方向に V_k 倍に拡大してから、全体を E_k 倍に拡大したときの、変形モデル図形の画素座標 Q_k は次式で表される。

$$Q_k = \{q_1(x_{1k}^*, y_{1k}^*), q_2(x_{2k}^*, y_{2k}^*), \dots, q_n(x_{nk}^*, y_{nk}^*)\} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで、各点 q_i ($i=1, 2, \dots, n$) の x, y 座標 (x_{jk}, y_{jk}) ($j=1, 2, \dots, n$) は変形後のモデル図形各点の絶対座標であり、次式で表される。

$$\begin{bmatrix} x_j^* \\ y_j^* \end{bmatrix} = E_k \begin{bmatrix} \cos\Theta_k & -\sin\Theta_k \\ \sin\Theta_k & \cos\Theta_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & V_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{Gk} \\ Y_{Gk} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(3)$$

X_{Gk}, Y_{Gk} は撮影の際の視点、 V_k は相手船のアスペクト、 E_k は相手船までの距離、 Θ_k は船体動揺を示すパラメータである。航海環境画像にマッチするこれらの値を求めることができれば、撮影条件の設定（視点、撮影範囲、焦点距離）だけでなく、見張り支援に必要な情報（相手船の針路、相手船までの距離、海面状態など）の概略値を得ることも可能である。

航海環境画像（カラー画像）を前処理し、二値画像（背景が白、船影が黒）が与えられたとする。式(2)の座標点列 Q_k の各点の位置の画素が黒画素である個数を n_k とすると、そのときの変形モデル図形と航海環

境画像中の船影とのマッチング率 F_k を次式で定義する。

$$F_k = \frac{n_k}{n} \dots\dots\dots(4)$$

二値画像上に点列 P をさまざまな位置、変形度と回転角度で重ね、式(4)のマッチング率を求め、最大の F_k を与えるときの X_{Gk} 、 Y_{Gk} 、 V_k 、 E_k 、 Θ_k を求める問題を船影探索問題とすることができ。これは、 X_{Gk} 、 Y_{Gk} 、 V_k 、 E_k 、 Θ_k をパラメータな軸とする5次元パラメータ空間における F_k の最大値の探索問題である。ここで、添字 k は生物集団の中の最大マッチング率を示す個体番号である。

2.2 遺伝的アルゴリズム

(1) 個体および遺伝子型

各個体は、図2に示すように、染色体の内部的表現である遺伝子型 G_k を持つ。本研究では、探索空間の次元を減らし、探索時間を短縮するために、 V_k と E_k を一つのパラメータである拡大収縮率 Φ_k で表すこととした。従って、遺伝子型と最終的探索結果を示す表現型は異なる。遺伝子型は29ビット列で表し、撮影装置の画素数(640×476画素)に対応し、 X_{Gk} 、 Y_{Gk} にそれぞれ10ビット、9ビットを割り当てた。 Φ_k は表1に示す○印(64個)を V_k 、 E_k の探索空間とし、6ビットを割り当てた。 Θ_k は、 -14° から 16° まで 2° きざみで、4ビットを割り当てた。

(2) 世代交代方法

世代交代シミュレーションの計算アルゴリズムを図3に示す。本研究では、個体の総数 PS は一定である。各個体のマッチング率 F_k を求め、大きい順に並べ換えた後、淘汰、増殖および突然変異を行う。淘汰はマッチング率が下位 $S\%$ の n_s 個の個体($n_s = PS \times S / 100$)を消滅させることにより行う。増殖は、マッチング率が上位 $(100 - S)\%$ の個体を親とし、新しい n_s 個の個体を2点交差により発生させる。突然変異は、 $M\%$ の確率で生起させ、各個体の遺伝子をランダムに0から1、あるいは1から0に反転させることにより行う。

PS 、 S および M の設定値によって、探索結果や探索時間に影響を及ぼすが、これらの値を一義的に決める方法は存在しない⁽⁴⁾。そこで、本研究では、 $PS = \{5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90\}$ 、 $S = \{20, 40, 60, 80\}$ 、 $M = \{10, 30, 50, 70\}$ の範囲で探索の試行実験を行い、探索結果と探索時間を考慮して、 $PS = 30$ 、 $S = 60\%$ 、 $M = 30\%$ と設定した。

図2 遺伝子型

表1 V_k と E_k の探索範囲

$E_k \backslash V_k$	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.7	1.0	1.5
0.53											○	○
1.00			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
1.23			○	○	○	○	○	○	○	○		
1.47			○	○	○	○	○	○	○	○		
1.70	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
1.94	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
2.17	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
2.64	○	○	○	○	○	○	○	○	○			

```

procedure evolution
comment
    t : 世代交代回数      Fk : 個体kのマッチング率
    PS : 個体数           S : 淘汰率
    Gk : 個体kの遺伝子型  M : 突然変異率
begin
    t ← 0
    for k ← 1 until PS do INITIALIZE (Gk(t))
    for k ← 1 until PS do EVALUATE (Gk(t))
    SORT (Fk(t))
    while (not terminate_condition) do
    begin
        t ← t + 1
        SELECT (S)
        TWO_POINTS_CROSS_OVER
        MUTATE (M)
        for k ← 1 until PS do EVALUATE (Gk(t))
        SORT (Fk(t))
    end
end

```

図3 世代交代計算手順

3. 探索結果および考察

3.1 探索供試画像

供試用の航海環境画像としては、東京湾近海を航海中の船舶をデジタルスチルカメラ（東芝製、 640×476 画素、RGB256階調）で撮影したデジタル画像を用いた。カラー画像である航海環境画像は、図4に示す前処理ブロックで階調画像、二値画像、ノイズ除去および輪郭画像へと変換される。カラー画像は、RGBの混合比を $0.3:0.59:0.11$ として、モノクロ256階調の階調画像に変換する。階調画像の濃度ヒストグラムを分析することにより、海領域と空領域に領域を分割する。各々の領域に対して再度、濃度分析を行い、モード法を用いてしきい値を決定し、二値画像に変換した後、領域合成を行う。二値画像は、8点近傍の収縮処理および膨張処理によりノイズの除去処理を行う。ノイズの除去処理を行った二値画像（完全にノイズは取り除かれていない）は、微分処理により輪郭画像に変換され、遺伝的アルゴリズムによる探索の供試画像となる。

3.2 探索結果

探索過程の一例を図5（画像番号、 $IN=68$ ）に示す。左側の縦軸は重心の画素座標値 X_{Gk} 、 Y_{Gk} を、右側の縦軸は最大マッチング率 F_{max} を示し、横軸は世代交代回数を示す。図中の実線および破線は X_{Gk} および Y_{Gk} の変化を、点線は F_{max} の変化を示す。一点鎖線および二点鎖線は、それぞれ真の重心の x 座標値および y 座標値を示す。世代交代が進むにつれて、重心の座標値の変化も少なくなり、 F_{max} はほぼ単調に増加していることがわかる。図には記入していないが、遺伝子型の他の要素 Φ_k 、 Θ_k と X_{Gk} 、 Y_{Gk} の値によって F_{max} 値は決まる。従って、 X_{Gk} 、 Y_{Gk} の値が正しい値に近い値を示しても F_{max} 値が大きな値を示すとは限らない。世代交代が1,000回程度までは X_{Gk} 、 Y_{Gk} 、 Φ_k 、 Θ_k の変化が激しく、この傾向は図5で示した画像以外に対しても同様であった。

探索供試画像に、ある世代における最大マッチング率を示す変形モデル図形（図中の点線）を重ねて表示したものを図6に示す。図6(a)は画像番号 $IN=68$ の結果で、世

図4 前処理機能

図5 探索過程

図6(a) 探索供試画像と探索結果($IN=68$)

交代が進むにつれて画像中央部の船影に重心位置およびモデル図形の大きさが近づいていることがわかる。図 6 (b)は画像番号 $IN=38$ の結果で、空側に多くのノイズが残されている場合である。図 6 (c)は画像番号 $IN=69$ の結果で、海側に多くのノイズが残されている場合である。海側と空側ではノイズの性質が異なり、海側のノイズが多い場合、探索結果は非常に悪い。

世代交代を30,000回行った時の重心位置の探索精度を図 7 に示す。縦軸は真の重心の y 座標値 Y_G と、探索した y 座標値 Y_{Gk} の差 ΔY_G を、横軸は探索した x 座標値 X_{Gk} と真の重心の x 座標値 X_G の差 ΔX_G を示す。白ぬきのプロットマーク (○, △, □, ▽印) はノイズ除去の収縮、膨張処理をそれぞれ1回行った場合を、黒塗りのプロットマーク (▲, ■, ▼印) は対応する白ぬきのプロットマークの画像に対して、収縮、膨張処理をそれぞれ3回行った場合の結果を示す。また、プロットマーク近くに記した番号は画像番号 IN を示す。原点に近い程、正しい重心の位置を探索できた事を示し、 $\Delta Y_G > 0$ の範囲は正しい重心位置より空側に探索した場合を、 $\Delta Y_G < 0$ の範囲は正しい重心位置より海側に探索した場合を示す。画像番号 $IN=38, 68, 10$ の探索精度は、入力画像の面積 (640×476画素) に対する探索結果の範囲を示す面積の比で $1/100$ 以下である。 $\Delta Y_G < -100$ の範囲にプロットされているデータは探索供試画像の海側に多くのノイズを含む場合で、ノイズ処理の回数を多くしても、 $IN=44$ の画像を除いて、結果の改善が見られない。これらのことから、遺伝的アルゴリズムを適用する場合、海側のノイズを効果的に除去することが今後の重要課題の一つとして挙げることができる。

3.3 探索時間

探索の所要時間を左右する要素として、図 3 に示したアルゴリズムの場合、個体総数 PS およびモデル図形の複雑度 (画素数、式(1)の n の値) が挙げられる。探索時間の計測結果を、縦軸に1世代交代当りの計算時間 C (約30 MIPSの計算機を使用) を、横軸に個体総数 PS

図 6 (b) 探索供試画像と探索結果 ($IN=38$)

図 6 (c) 探索供試画像と探索結果 ($IN=69$)

図 7 探索精度

をとって図8に示す。 C と PS の関係は図中の直線で近似することができる。

$$C = 1.28 \times 10^{-2} PS \quad \dots\dots\dots(5)$$

本研究ではモデル図形の画素数を508と固定しているが、画素数が多くなれば、計算時間はこの直線を上方へ平行移動した形となる。本研究で採用した個体総数 $PS=30$ の場合、 C の値は式(5)より約0.4秒である。世代交代回数1,000回で探索を終了させるならば、探索に必要な時間は約7分となる。運航実務者へのヒアリング調査などから、15~20ノットで大洋航海中の在来船を想定した場合、探索から画像認識までの所要時間として4分以内を評価の基準とすることが得られた。探索だけの所要時間、7分はこの基準を満たすものではない。

探索時間の短縮にはプログラムの改良などが考えられるが、十分な短縮は望めないと考えている。実用性、船舶搭載性を考えるならば、見張り支援システムの処理装置として並列コンピュータの導入が不可欠と考えている。並列コンピュータを用いた場合の予測できる探索時間(1つの計算機能力を約30MIPSとし、個体総数と等しい数の計算機を用意した場合)は、式(5)より世代交代回数1,000回で約13秒となり、十分満足できる値であると考えている。画像撮影から前処理、探索までの一連の処理時間については、対象物探索システムの構築を通して検討が必要である。

図8 1世代交代当りの計算時間

4. おわりに

画像認識、画像理解による見張り支援システムの構築を目指して、監視機能の一部である航海環境画像中の認識対象物の探索について検討を行った。対象物探索を短時間に効率良く行うことは見張りの支援能力を左右するものである。

本研究で得られた主な成果を以下に示す。

- (1) 遺伝子型として、重心位置や回転角度以外に相手船のアスペクトや相手船までの距離を表現できる遺伝子座を設け、探索範囲の明確化を行った。
- (2) 探索空間の次元を減らし、探索時間の短縮を行うために、遺伝子型と表現型を同じにせず、アスペクトと相手船までの距離を拡大収縮率として表現した。
- (3) ノイズ除去が良好な画像に対する船影の重心の探索結果は、画像面積の1/100の範囲の精度で探索が可能であった。
- (4) 探索精度について検討を加え、空側のノイズに比べて海側のノイズの探索結果に及ぼす影響が大きいことを明らかにした。
- (5) 遺伝的アルゴリズムを用いた船影の探索時間を左右する要因は、個体総数とモデル図形の画素数であり、探索時間の実測値を基に実用性について考察を行い、並列コンピュータ利用の必要性を論じた。

本研究で明らかになった、今後の主な課題を以下に示す。

- (1) 探索精度を向上させるために、画像の前処理方法について検討を行い、簡単な処理方法で時間計算量および領域計算量に優れた処理アルゴリズムの開発を行う。
- (2) 航海環境画像に適した遺伝的アルゴリズムの種々の計算パラメータ(個体総数、選択率、淘汰率、突然変異率など)および世代交代方法(交差方法など)を確立する。
- (3) 探索対象物(船、ブイなど)に適したモデル図形の検討と設定を行う。
- (4) 初期撮影、対象物探索、拡大撮影といった一連の処理が可能な認識対象物の探索システムの構築を行

う。

今後、見張り支援システムの構築に向けて、残された機能について検討を行っていきたい。

本研究にあたっては、東京商船大学大学院生の叶立勤君にモデル図形の作成、学部学生の松本昌克君に画像の前処理で多くの協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 稲石正明・杉崎昭生：針路推定ニューラルネットワークシステム，日本航海学会論文集，vol.89，pp.161—168，1993.
- (2) 稲石正明・足立浩一・山下千春・杉崎昭生：見張り支援ニューラルネットワークに関する基礎研究，日本航海学会論文集，vol.91，pp.203—211，1994.
- (3) 川口順子・山下千春・稲石正明・杉崎昭生：見張り支援ニューラルネットワークに関する基礎研究—夜間航海時の相手船針路の推定—，日本航海学会論文集，vol.92，pp.303—312，1995.
- (4) 北野宏明編：遺伝的アルゴリズム，産業図書，1993.
- (5) 長尾智晴・安居院猛・長橋宏：遺伝的手法を用いた2値図形のパターンマッチング，電子情報通信学会論文誌（D—II），vol.J76—D—II，no.3，pp.557—565，1993.

質 疑 応 答

島村雄司(防衛大学校)：画像の前処理のノイズ除去において、レーダ等において利用されているMTI処理等は検討されているのか。

稲石正明：ノイズ除去については今後の重要課題と考えております。まず画像処理における種々のノイズ除去方法について検討した後、狭義の信号処理におけるノイズ除去について検討して行きたいと考えております。

古荘雅生(神戸商船大学)：人間の視覚による探索過程は、感覚としての明るさの知覚から行われると理解していますが、今日発表された形態の探索過程よりも輝度レベルの探索からアプローチするというのはいかがでしょうか。御教示下さい。

稲石正明：カラー画像を階調画像に変換することは、輝度信号を階調画像の階調値としたことに相当します。階調画像のままで探索を行うのであれば輝度レベルの探索アプローチとなりますが、画像中に対象物以外の信号を多く含むため標準的な二値化方法を採用することとしました。二値化のしきい値のとり方を工夫するか、航海環境画像に適したRGB信号の混合比を採用することによって、人間の視覚による探索過程に近づけることができると考えております。