他船視覚情報の収集自動化に関する研究

黒川 肇*・今津 隼馬**

Feature Extraction of Visual Information for Collision Avoidance

Hajime KUROKAWA and Hayama IMAZU

Abstract

In case of collision avoidance, information about targets is obtained from a radar system or through the sense of vision and hearing. Especially, the information through the sense of vision is very wealthy.

However, the study of machine perception concerned with the sense of vision is delayed, it is the present condition that the practical collection of visual information is leaved entirely to persons under the actual navigation system.

In this paper, first, we classified the information required the estimation of encounter conditions with other vessels.

Next, by using of image processing techniques, we tried to get out of the picture related to a part of hull from a color photograph which had a scene of a vessel on the sea, and extracted some features from the processed image.

After then, we attempted presumption of the visual information in accordance with the extracted features.

1. はじめに

船舶航行に要する情報には、自船に関する情報、目標に関する情報、環境その他に関する情報の3つがあげられる。これらの情報は、人間が有する感覚手段、各種航海計器、その他書物等から収集されているのが現状である^{(1),(2)}。

ここで船舶航行の安全性を確保するための1つの方法である避航を考慮した場合、目標に関する避航情報は、人間の視覚、聴覚、あるいはレーダーから得られる⁽²⁾。このように、船舶航行の自動化は、そのシステム内に人間が有するいくつかの知覚能力が無ければ困難であるか、または不可能である。

そこで今回の研究では、目標を船舶に限定し、他船に関する避航情報を分類、整理した上で、人間にとって最も複雑でそして最も有効な感覚上の入力情報である視覚情報の収集自動化を促すために、海洋上における船舶カラー写真をコンピュータに取り込み、画像処理 (image processing) の技法を用いて船体部分の画像を抽出し、船体形状等に関する画像解析 (image analysis) を行うことにより、いくつかの特徴の取得を試みた。こうして得られた特徴から視覚情報の推定を行い、その結果について検討したのでここに報告する。

* 学生会員 東京商船大学大学院 (〒135 江東区越中島 2-1-6)

** 正会員 東京商船大学 (〒135 江東区越中島 2-1-6)

2. 船体画像処理による他船視覚情報の抽出

2. 1 他船に関する必要情報と視覚情報

船舶の航行に要する情報は、冒頭でも述べたように、自船関係、他船関係、その他環境等に関するものの3つに分類されるが、ここでは避航を念頭に置き、ある程度定量的に得られる自船に関する情報や、比較的入手困難な環境等の情報は扱わず、避航の際に最も重要である他船に関する情報のみを扱うこととする。

2. 1. 1 他船に関する必要情報

ここでいう他船に関する必要情報とは、避航に際しての他船に関する必要情報であり、以降は他船避航必要情報と呼ぶことにする。

他船避航必要情報とは避航プロセスにおける衝突危険の評価や避航動作の決定に必要な情報であり、これを大別すると、図1のように分類される⁽²⁾。動的情報とは時間経過に対する情報変化の可能性が大きいものを示し、それに対して静的情報とは時間の経過に対する情報変化の可能性が小さいものを示す。相対位置と運動状態情報は、主として衝突の可能性の評価や、避航動作の決定に利用される。占有空間情報は確保すべき安全航過距離の決定に利用され、操縦性能や種類、状態、意志に関する情報は、避航動作を決定する場合に考慮すべき避航環境条件の一部である（この他に海域、気象海象条件や法規、慣習等を考慮する必要がある）。なお、ここでの種類とは、その船舶が属する船種を意味し、例えばフェリーやタンカー等を示す。一方、状態とはその船舶が一時的に陥ってる様子を意味し、例えば操縦性能制限や運転不自由、喫水制限状態等を示す。

図2は、これらの他船避航必要情報の収集状況を手段別に分けたものである。ここで、○は観測精度が良いもの、△は観測精度が悪いもの、×は収集不可能な場合を示す。聴覚による手段とは、ドラや汽笛によるもので、VHF等の無線機は考慮していない。また、聴覚による状態と意志に関する情報収集の箇所が△になっているが、これはそれらの情報が必要な場合でも、相手側が信号等を発しない限り収集不可能だからである。

	レーダー	視覚	聴覚
相対方位	○	○	×
相対距離	○	△	×
移動方向	△	△	×
移動速度	△	△	×
占有空間	△	△	×
操縦性能	×	△	×
種類	×	○	×
状態	×	○	△
意志	×	○	△

図2 他船に関する避航必要情報の手段別収集状況

図1 他船に関する避航必要情報

相対位置	
相対方位	・・・コンパス方位
相対距離	・・・水平線からの俯角 他船水際からの俯角 船体形状特徴とその変化
運動状態	
移動方向	・・・船体形状特徴 航走波、航跡 アスペクトとその変化
移動速度	・・・航走波、航跡
占有空間	・・・大きさ (運動状態)
操縦性能	・・・船体形状特徴 大きさ (状態)
種類	・・・船体形状特徴 色 大きさ 信号
状態	・・・船体形状特徴 信号 (運動状態)
意志	・・・信号 (種類) (運動状態)

図3 他船に関する避航必要情報と視覚入手情報の関係（ ）内は参考すべき避航必要情報

2. 1. 2 他船に関する視覚情報

視覚による情報収集手段が、他船避航必要情報のすべてを網羅していることは図2より分かる。そこで他船避航必要情報と実際に得られる他船に関する視覚入手情報（以降単に他船視覚情報と呼ぶ）との関係を図3に示す。

相対位置に関しては、他船のコンパス方位あるいは俯角を測定することより、相対方位、距離を知ることができる。また船体の特定部分の長さの変化より、相対距離の変化も認知できる。運動状態における移動方向は、船体形状特徴より船首尾部分を特定すること、または航走波、航跡あるいはアスペクトから知ることができる。移動速度は、航走波等より推定される。アスペクト変化は運動状態の変化そのものを知る手掛かりでもある。占有空間は、他船の大きさに直接依存し、操縦性能は大きさ、その他喫水状態等から推定される。種類は、船体形状特徴と色、大きさから知ることができ、夜間などでは灯火からエアクッション船等の判別が可能である。状態は、船体形状特徴や信号から知ることができ、運動状態からも類推することができる。意志は信号から直接知ることができる他、フェリー等ではその航路が決まっていることから、推定することが可能である。また、周囲の状況と他船の運動状態からも、その意志を類推することができる。

以上より、他船視覚情報として扱う具体的情報は、

- ・船体形状特徴とその変化
- ・大きさ
- ・信号
- ・アスペクトとその変化
- ・その他（方位、俯角、航走波、航跡等）

であることが分かる。

2. 2 画像処理システムと船体画像の抽出

一般に称されている画像処理とは、ある特定の画像観察、計測等を容易にするための補助的画像を新たに生成する「画像→画像」変換処理に関連するものである。代表的な応用としては、画像強調、あるいは再生、歪みの補正等があげられる。これに対して画像解析とは、与えられた画像から記述に有用な相互関係構造を導き出す「画像→記述」変換作業のことで、画像全体または部分画像の特徴と部分画像間の関係を明瞭にすることが目的となる。この意味において、船体画像の抽出とは画像処理の応用であり、抽出画像からの特徴量の算出は画像解析の分野である。

このように、画像処理と画像解析の2つの分野は、その歴史的な発展過程は異なるものの、現在ではその境界が明確でなく、以下まとめて画像処理と呼ぶことにする^{(3),(4),(5)}。

2. 2. 1 画像処理システムの構成

今回の研究には、表示モード 512×512 ドット、同時発色数 65536 色のグラフィック性能を有す汎用 16ビットコンピュータ SHARP X 68000 CZ-611C-GY と専用ディスプレイを使用した。また、カラー写真のコンピュータへの画像入力装置には、同社のカラーイメージスキャナ CZ-8NS1を使用した。このイメージスキャナは、従来の赤・緑・青の色毎面順次3走査で読み取る方式とは異なり、線順次1走査読み取り方式のため、色ずれの少ない画像再生が行える。ソフトウェア構築のためのプログラミング言語には、グラフィック関数を多く備えた同社製の C-compiler PRO-68K を利用した。

2. 2. 2 船体画像の抽出

画像をコンピュータで処理するためには、まず画像そのものをデジタル量で表現する必要がある。一般に、画像はすべて平面座標 (x, y) に対する連続関数 $f(x, y)$ として表現される。例えば、外界の風景の場合には $f(x, y)$ はその点 (x, y) での輝度 (intensity)、色相 (hue)、彩度 (saturation) からなる色を表す。従って、デジタル画像を得るには、上の3つの量 x, y, f をすべてデジタル量で表せばよいことになる。具体的にはイメージスキャナで、読み取るべき写真上に仮想的正方格子を設け、その格子点上の色値を離散値で近似する。この近似操作を色値の量子化、そのとりうる値を量子化レベルという。この結果得られる画像は、離散の色値を有する離散の座標点 (pixel; 画素) の集合となり、デジタル画像としてコンピュータに取り込まれ、グラフィック・ディスプレイのドット上に対応する画素が表示される⁽⁵⁾。今回は、およそ 12×8 cm の海洋上

での船舶カラー写真を 464×315 画素、量子化レベル 65536 のデジタル画像に変換して使用した。

図4は、デジタル変換された海洋上における船舶カラー画像を構成する、色値と構成領域部との関係概念図である。構成領域部は、背景としての陸・海・空域と抽出すべき船体部の4つに大別され、それぞれの領域部を構成する色値の集合が定義されている。従って、船体画像を抽出するには、背景を構成する色値を画像全体から削除すればよいことが分かる。

今回は陸・海・空域の構成領域を画像の上下左右の端領域とし、その領域内画素の色値をサンプリングした後、画像全体からサンプリングされた色値に該当する画素を削除するという方法を用いた。しかしながら、この処理のみでは背景の中にサンプリングされなかった色値を有する画素が残存して

図4 色値と画像構成領域部との関係図

しまう。そこで次に、空間的に不連続な比較的小領域を構成する画素を捜し出して削除し、あるいはその色値を再度サンプリングし該当色値を有する画素を再び削除することを2～3回繰り返した。結果としてこの方法を用いれば、エッジぼけの少ない良質の船体画像が抽出できた。以降、抽出処理を施された船体部に関する画像を、船体抽出画像と呼ぶ。

2. 3 他船視覚情報の推定法

画像解析とは、与えられた画像の構造を分析して特徴を抽出し、記述処理を行うことを目的とするものである^{(4),(6)}。この意味においてまず第一に、記述内容を明確にする必要がある。

2. 3. 1 他船視覚情報の推定

2. 1. 2 であげた他船視覚情報の推定を行うにあたって、どのような特徴量を船体抽出画像から算出すべきかを検討する必要がある。

船体形状特徴に関しては、船体抽出画像の上部形状とその両端形状特徴から、上部構造物に関する形状と船首尾部の推定が可能であると思われる。もちろんこのとき、船体抽出画像の最大縦長と最大横長の比から、その船舶を側方から見ているのか、あるいは船首尾側から見ているのかの推定結果も考慮すべきである。また、上部構造物の有無を知るには、中心を境に船体抽出画像を2分割した場合における左右の面積差から推定する方法も有効である。特定部分の船体形状特徴の変化を知るには、船体部に関して比較的安定した状態で抽出可能な船体基本部にあたる船体抽出画像下部の平均高さを利用することにする。

信号については、その使用環境が特殊であり特徴抽出が困難なことから、今回は考慮しないこととする。

大きさについては、相対距離が分かれば、船体抽出画像面積と画像倍率から平面的なものは推定できる。

アスペクトとその変化は、船体抽出画像の下部の平均高さとの比、およびその変化から推定できる。

その他の方位や俯角については、実際に測定する必要があるが、航走波や航跡はその抽出が困難なことから今回は考慮しない。

2. 3. 2 船体抽出画像の解析

以上より、船体抽出画像から求めるべき特徴量は、

- ・上部形状特徴量
- ・両端形状特徴量
- ・最大縦長と最大横長
- ・面積
- ・下部平均高さ

となる。

上部形状特徴量には、船体抽出画像上部エッジの凹凸頻度を示す値(複雑度)を用いた。また両端形状特徴量には、船体抽出画像左右両端より下に向かうエッジ高さの変化率を用いた。最大縦長と横長には船体抽出画像の

上下左右端の座標値の差を、面積は中心を境にした左右それぞれの画素数の総和を利用した。下部平均高さには、船体抽出画像左右両端高さの平均値と下部エッジ高さの平均値との差を用いた。

3. 船体画像処理結果とその考察

3. 1 船体画像抽出結果

図4に示したように、コンピュータに取り込まれた画像とは、陸・海・空域の背景と船体部を構成する色値を有する画素の集合体である。ある色値が、複数の領域部の構成色を兼ねる場合、その色値は構成する領域部集合の重なり合った部分に存在する。また、それぞれの領域部の構成色数を変動させる要因には、次のような要素が考えられる。陸域では、草木等の生態形や人工物の存在等があげられる。島影等の濃淡に近い領域は、15～20色で構成されるのに対し、人工物が存在する場合には、300色前後まで構成色数が増加する。海域に関しては、風波やうねり、航跡等の存在、その他陸の影や空の色、光の海面反射等によって構成色数が変化する。水平線に近い海域では、波等の影響が少なく構成色数も20色前後であるが、画像手前付近の海面では、海面形状等の変化が激しく構成色数も150色以上にのぼることがある。空域では、雲の存在や太陽光の影響等が考えられる。雲の影響が比較的少ない場合には、その構成色数は10～15色であるのに対し、影響が非常に大きい場合には70色以上にもなる。船体部の構成色数は、その画像における船体占有面積と塗装色に直接関係する他、光の海面反射等による影響も存在するが、通常300色前後である。また画像全体に変化を及ぼすものには、降雨、降雪、霧等による視界の変動、太陽の位置等があげられる。

以上のような様々な要因によって、各領域部構成色の値や数量は変化するが、サンプリング領域を確保することによって、これらの影響はある程度おさえることができる。従って、ほとんどのケースで、エッジ劣化等の少ない鮮明な船体画像を抽出することができた。

しかし、逆に、サンプリングされたカラーコードを参考に背景を削除するという方法を用いているため、以下に示すような問題も存在する。

図5のAは、背景として海・空域が存在する船舶写真に、通常の船体画像抽出処理を施したものである。このケースでは、船体部の構成色と背景の構成色との隔たりが少ないため、船体画像中央部に空穴が生じている。そこで、海・空域の構成色に相当する色値を有する画素を画像全体から削除するという通常の方法を変更し、画像の外側から内側に向かって画素を削除してゆき、削除不可能な画素、つまりは船体部エッジと思われる箇所で処理を中断するという方法を用いた。しかしながらこの方法では、船体画像のエッジ抽出はできるものの、空域にあたる上部構造物の間隙の処理が不十分なものになってしまう。そこで次に、この不完全な船体抽出画像の上部小空域の構成色を原画像から再び、サンプリングし、その構成色に相当する色値を有する画素のみを不完全な船体抽出画像全体から削除する方法を用いた。処理結果を図5のBに示す。船体中央部の空穴をある程度おさえることができたことが分かる。

図6は、背景に陸上の人工物が存在する写真の処理結果例である。このときの陸域の構成色数は250色、このうち船体画像抽出処理の初期にサンプリングされた色数は130色であった。従って、船体部以外の残存背景は、サンプリングされなかった100色以上の色値から構成されていると思われる。

3. 2 視覚情報推定結果

図7は、船体抽出画像の左右面積とその差、画像上部の複

図5 船体画像抽出結果例(その1)
注：出力装置の都合上、抽出処理結果の画像は原画に比べ横方向に長くなっている

図6 船体画像抽出結果例(その2)

雑度に関する解析結果を示したものである。A, Bの例では、最大縦長と最大横長の比である画像縦横比の値が小さいことより、船体を側方から見ていることが推定される。

それに対してCでは、画像縦横比の値が大きく、船体を前方あるいは後方よりから見ていると推定される。またAの場合、右の複雑度が小さく左の複雑度が大きいことから、画像右側の上部は平に近く、左側にはなんらかの上部構造物が存在することが分かる。Bの例ではこの逆がいえ、この場合左右の面積差も大きいので、右側上部に比較的大型の突出した構造物があることが推定できる。Cの例では、左右面積および左右複雑度にそれほどの差が認められない。船体形状を考慮した場合、このような結果は、船首方あるいは船尾方から見た場合の左右対称な形状の場合に起こりうると考えられる。

以上より、図7のAの例は、船体を側方から見ており、左側にそれほど大きくない構造物が存在することが分かる。Bの例では、これも船体を側方から見ており、左側上部は平なのに対し、右側には大きな上部構造物があることが分かる。船体構造を考慮すれば、このような上部構造物は、ハウス部分に相当するものと思われる。Cは、船体を船首あるいは船尾方からみており、上部に複雑な構造物があることが分かる。このように、画像縦横比と画像上部の複雑度、左右面積差を考慮すれば、ある角度からみた船種別船体の上部複雑度や左右面積差に関する統計的データを作成することで、ある程度の種類の判別は可能であると思われる。

図8は、船体基本部の両端形状に関する解析結果である。船体構造上、船尾形状に比べて船首形状は鋭角なものである。この例においてはどちらの場合も、右端形状より左端形状の変化が大きいため、左端が船首部、右端が船尾部であると特定できる。

図9は、同一船舶を異なった角度、距離から見た場合の画像における、船体基本部平均高さ、および縦横比（平均高さとの比）に関する解析結果である。船体基本部の平均高さの変化より、その船舶との相対距離の変化が分かり、縦横比の変化からは他船真運動の変化を推知できる。

3.3 他船視覚情報の自動収集における改善点

今回の研究では、コンピュータに取り込まれた画像は、水平・垂直方向に関して正しいものという仮定の上で行っているが、実際には幾分かのずれがあり、算出される特徴量にも誤差が生じていると思われる。これを防ぐためにも、原画内に疑似水平を設定し、それを参考に画像の歪みを補正することが望ましい。

船体画像抽出処理の際の背景の除去方法にも、いくつかの問題点がある。まず、今回は抽出すべき船体画像が常に入力画像の中央に位置しているという仮定に基づいて、背景に関する構

図7 船体画像抽出結果例（その1）

図8 船体画像抽出結果例（その2）

図9 船体画像抽出結果例（その3）

成色を画像周辺部からサンプリングしている点である。また3.1で示したように、各領域部の構成色に隔たりが少ない場合、抽出画像にエッジ部分の欠損が認められたり、空穴等が生じてしまうなどの画像劣化を招いてしまう、あるいは背景構成色に関するサンプリングが充分でない場合には背景が残ってしまうなど様々な弊害が残されている。雑音除去ルーチンに関しては、今回は一律 25/400 画素密度で除去したが、この方法では、抽出すべき船体画像が小さい場合、マスト等の小領域部分まで雑音とみなし除去してしまう恐れがある。このような事態を防ぐためにも、原画像の倍率や目標までの相対距離から、除去すべき雑音の密度レベルを決定すべきである。

また、船体画像に関する特徴量抽出法については、今回は主として大まかな形状特徴量抽出にとどまったが、今後は、より高画質な船体画像からの信号等の微細な部分の特徴量抽出とその統計的データの収集を行う必要がある。

画像処理速度については、今回は1回の処理に4分程度の時間を要した。これに関しては、プログラミング言語レベルで多少の高速化は期待できるものの、処理速度の高速化に関する重要性を考慮すれば、より上位のスペックを有するハードを利用することが望ましい。

4. ま と め

船舶航行の自動化を目指すにあたっては、多目的な映像知覚システムが必要になる。このシステムには、人間視覚システムと類似した能力と、数々の観察条件下での幅広い様々なシーン処理を行える性能が要求される。しかしながら現時点では、このような人間システムの多目的性能のレベルへの手掛かりとなるようなシステムですら研究段階である⁽⁴⁾。

今回の研究は、簡単なシステムによる写真からの船体画像の抽出と、抽出画像に基づく視覚情報、とりわけ形状に関する情報の摂取に努めた。この意味において、いくつかの問題は依然残されているものの、比較的安定した状態で船体画像を抽出できたこと、また船体上部構造物や船首尾部の形状特徴、アスペクト変化等に関する視覚情報の自動収集にもある程度成功したことは、満足すべき結果であり、今後の視覚システムの研究開発に少しでも役立てば幸いである。

これからの研究の指針としては、3.3で述べた項目の改善、相対位置情報をレーダーから収集する場合におけるレーダー画像とコンピュータで処理された船体部抽出画像との同定法、知識ベースシステム(knowledge-based system)の作成等がある。現在、研究されている画像処理のシステムは、そのほとんどが特殊なタスクに適するように作られているので、画像認識(image recognition)のシステム内で用いられる知識ベースも、特殊な条件下での比較的単純なシーンに関する記述のみで構成される⁽⁴⁾。よって、船体特徴の知識ベース作成も、そこに如何に簡易な、しかも特徴を正確に表す記述を用いるかが重要なポイントとなってくるであろう。

参 考 文 献

- (1) 今津隼馬：避航法に関する研究，東京大学博士論文，1987
- (2) 今津隼馬：避航と衝突予防装置，成山堂書店，昭和59年
- (3) 田村秀幸：コンピュータ画像処理入門，総研出版，昭和60年
- (4) R. Nevatia 著，南 敏監訳：画像認識と画像理解，啓学出版，1986
- (5) 長谷川，興水，中山，横井：画像処理の基本技法，技術評論社，昭和61年
- (6) A. Rosenfeld, A. C. Kak 共著，長尾 真監訳：ディジタル画像処理，近代科学社，1978

質 疑 応 答

原 潔（神戸商船大学）：本システムで距離を測定するには、相手船の寸法が必要と考えていますが、レーダーとのマッチングをお考えでしょうか。

黒川 肇：相対位置情報、とりわけ相対距離に関する情報は、視覚によるものよりも、レーダーからのデータを用いることが望ましく、レーダーとのマッチングの必要性が認められます。本稿の“まとめ”にも述べているように、レーダー画像と船体抽出画像の同定法については、今後の課題として研究してゆくつもりです。