

# 画像処理を用いた 計測距離にロバストな喫水自動読取方式

学生会員○岡本 章裕（神戸大学大学院） 正会員 吉田 大海（大阪大学）  
非会員 田中 直樹（神戸大学） 正会員 廣野 康平（神戸大学）

## 要旨

現在、船舶の喫水計測は、航海士やサーベイヤーが目視で読取を行うのが主流である。しかし荒天時は、うねりによる船体動揺や海面の上下動が強くなり、そうした悪条件のもとでの喫水計測は困難かつ落水などの危険が伴うものである。そのため、非接触・高精度な喫水の自動読取方式が確立されることは、船舶の安全運航および喫水検査業務を大きく支援するものと考えられる。また当該技術は、読取の客観的な指標を与える一つの基準にも成り得るため、商業的な観点からも重要な意義があると考えられる。

本稿が提案する喫水読取方式は、動画撮影された喫水の映像から、画像処理によって喫水読取を行う方式である。同方式は計測距離にロバストであるという特徴を持ち、さらには輝度や色の変化に対しても、一定の頑健性を有している。そのため、様々な環境下での利用が期待できる。

また、本方式を構成する学術的背景は画像処理であり、エッジ集積による海面領域の特定や、矩形判定に基づいた可変テンプレートによるドラフトマーク認識といった技術が導入されている。これらの技術は、文字認識や領域セグメンテーションなどの分野に応用が可能であり、関連研究への波及効果も期待できる。

キーワード： 情報処理、画像処理、テンプレートマッチング、喫水計測

## 1. はじめに

喫水検査(Draft Survey)により穀物、鉱石、石炭、塩などのばら積み貨物の取引量を決定することは国際的な商習慣となっている。これは利害関係の対立する荷主と運送人のもとで検査員(Surveyor)が公正な第三者として喫水を読み取るもので、両者の合意が得られない場合その後の運航に遅延を引き起こしかねない重要なプロセスである。

本稿では、喫水標に正対して撮影された喫水の映像から、画像処理により自動で喫水の値を読み取る方式を提案する。同方式は可変テンプレートマッチングを用いるため対象までの距離にロバストであり、また、ラプラシアンエッジをベースに海面特定を行っているため、輝度や色の変化に対しても一定の頑健性を有す方式となっている。

### 2.1 ラプラシアンオペレータ

ラプラシアンオペレータとは、 $3 \times 3$  もしくは  $5 \times 5$  の走査窓を用いて画像の2次微分を計算していくことにより、画像の輪郭情報を出力するエッジ検出オペレータである。画像は標準化された画素の集合、即ち離散データであるため、微分における微小区間の計算は、参照画素と隣接画素の差分となる。例えば  $3 \times 3$  のラプラシアンオペレータによるエッジは、以下の様な行列を画像に畳み込むことにより、出力される。

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

(1)

## 2. 関連技術

本方式は以下の要素技術から構成される。

- (1) ラプラシアンオペレータによるエッジ検出
- (2) 判別分析2値化法
- (3) 矩形判定によるノイズ除去とスケール特定
- (4) テンプレートマッチングによる喫水標認識

上記技術に対し、以下簡単に説明を行う。

出力結果は、3章の Fig. 1 に示す。本稿が提案する方式において、ラプラシアンオペレータは主に海面領域の特定に用いる。これは海面領域が、エッジが集積したテクスチャ領域として判別・特定できる為である。領域特定に関する詳細は、3章で述べる。

## 2.1 判別分析 2 値化法

判別分析 2 値化法は、画像を一つの閾値で画像全体を 2 値化する大域的 2 値化方式である。同方式は画像 2 値化を 2 クラス問題と見なし、黒画素クラスと白画素クラスの分離度が最大となるような閾値を選択する。実用面では、濃淡ヒストグラムを対象として計算する場合、黒画素クラスと白画素クラスのクラス間分散が最大となる閾値を算出すれば良い。(2)式に、クラス間分散の算出法を示す。

$$\sigma_b^2 = \frac{\omega_1(m_1 - m_t)^2 + \omega_2(m_2 - m_t)^2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (2)$$

出力結果例は、3 章の Fig. 3 に示す。

## 2.3 矩形判定処理

矩形判定処理は、2 値化された画像に対し白領域もしくは黒領域を連結成分毎にラベリングしていき、ラベリングされた各領域の最小外接矩形（バウンディング・ボックス）を求め、それを複数の条件を基準として削除する、ノイズ除去方式である。以下に条件式の例を示す。

- (1) 外接矩形の縦横比
- (2) 充填率（領域の面積/外接矩形の面積）
- (3) 領域の面積
- (4) 画像の横長と外接矩形の横長の比
- (5) 画像の縦長と外接矩形の縦長の比
- (6) 画像と領域の面積比

設定する条件式やその閾値、あるいはそれら条件の組み合わせ(AND や OR など)は、対象画像や抽出目的により様々である。本提案方式では、船舶を捉えた映像からの喫水標の抽出が目的となっているため、それらに基いて設定される。

## 2.4 テンプレートマッチング

テンプレートマッチングとは、探索対象の画像パターンをテンプレートと定義し、参照画像との類似度計算を行いながら、テンプレートのパターンを探索する方式である。類似度計算は、ユークリッド距離、市街地距離などがあるが、本提案方式では輝度の変動に強い正規化相互相関（明るさで正規化したコサイン距離）を尺度とし、喫水標の特定・認識を

行なう。正規化相互相関を(3)式に示す。

$$R_{ZNCC} = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} ((I(i,j) - \bar{I})(T(i,j) - \bar{T}))}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (I(i,j) - \bar{I})^2 \times \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (T(i,j) - \bar{T})^2}} \quad (3)$$

$I(i,j)$ が入力画像、 $T(i,j)$ が参照用テンプレート画像に対応しており、 $\bar{I}$ および $\bar{T}$ は各々の領域の平均輝度値である。喫水標は文字幅が 2 cm、縦幅が 10 cm と規格が統一され、また本稿では読取条件を船舶と正対している状態に限定しているため、テンプレートマッチングにおいて最も大きな課題の一つである透視変換の影響を考慮しなくて良い。

これら関連技術の具体的な用途を述べる。2.1 は、喫水線の特定に用いる。海面をエッジが集積したテクスチャと見なし、微分値の集積・閾値判定により海面・喫水線を特定する。2.2 は、喫水標の切り出しに用いる。喫水標は船体に対して高コントラストであるため、判別分析による分離が可能である。2.3 は、雑音除去に用いる。2 値化画像の各領域で外接矩形を作成し、縦横比・充填率を基準に喫水標の領域判定を行う。2.4 は、喫水標の認識に用いる。矩形判定で推定された喫水標のスケールを、参照用テンプレートに反映させ、マッチング・認識を行う。

## 3. 提案アルゴリズム

本稿の提案する喫水読取り方式について述べる。

### 【喫水線の特定】

step1: ラプラシアンエッジをフレーム毎に検出後・2 値化し、集積させて海面領域の特定を行う。エッジが集積された画像を“E” (Edge Image)とする。入力画像とエッジ画像“E” (Edge Image)を Fig. 1 に示す。



(a) Input image



(b) Edge detection by Laplacian operator

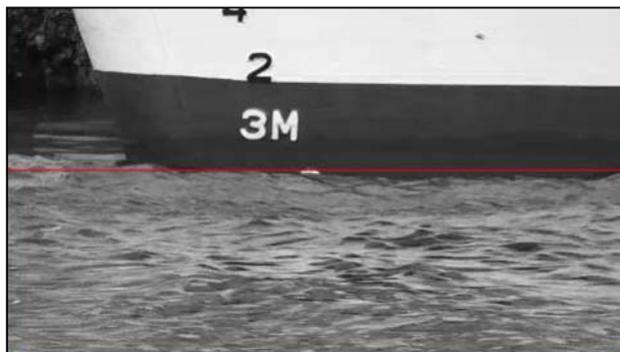


(b) Sea surface segmentation by Binarization



(c) "E" (Edge Image)

Fig. 1 Sea surface estimation by integration of Laplacian



(c) DL" (Draft Line) image

Fig. 2 Draft Line Detection

step2: "E" の画素値を、y 座標ごとに水平方向へ積分・平均して出現確率を求め、2 値化を行なって海面領域を特定する。この画像を画像の最下端より垂直上方へ走査し、喫水線を検出する。この y 座標の値を "DL" (Draft Line) とする。Fig. 2 に特定された海面領域の画像、そこから検出された "DL" を記した画像を示す。

【喫水標の切りだし】

step3: 入力動画に判別分析 2 値化法を適用し、喫水標と船体のセグメンテーションを行う。2 値化後の画像を "B" (Binarized Image) とする。また、輝度反転のなされた画像も取得し、"BR" (Binarized Reverse Image) とする。Fig. 3 に "BR" (Binarized Reverse Image) を示す。



(a) Sea surface segmentation based on probability of horizontal component

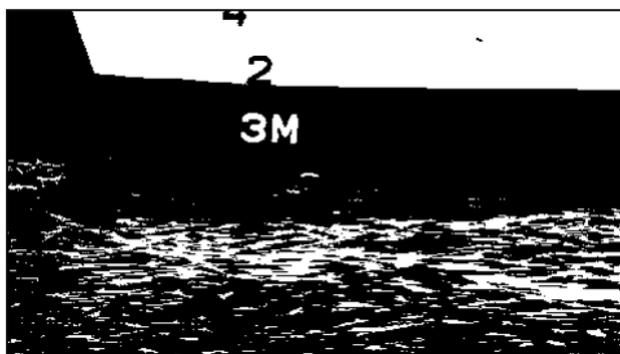


Fig. 3 "BR" (Binarized Reverse Image)

step4: "B" と "BR" に対し、矩形判定処理でノイズ領域を除去する。閾値は、喫水標が定規格であ

るという点を踏まえ、縦横比・充填率・平均長で定める。また、生存領域の縦画素長を“DML” (Draft Mark Length)とする。

### 【喫水標の読取り】

step5：用意した喫水標テンプレートを、バイキュービック法で“DML”のスケールに一致させる。

step6：“B”と“BR”を統合して画像“C”(Combined Image)とし、step5のテンプレートを用いてマッチング・認識を行う。Fig. 4に“C”(Combined Image)を示す。



Fig. 4 “C” (Combined Image)

step7：喫水座標“DL”と矩形長“DML”、喫水標の認識結果に基づいて、喫水値を特定する。喫水値は、船体の上下動（喫水標の上下動で判定）を考慮して、集積されたフレーム分の平均値を出力値とする。

## 4. 実験結果と展望



Fig. 5 Draft line estimated by proposed method

本方式による出力結果を Fig.1 に示す。船体に描画された白線が、喫水値として推定された位置であり、結果は 289.8cm となっている。

第2章にある通り、テンプレートマッチングは正規化相互相関を用いて実施されるため輝度の変化に対して頑健となり、また、テンプレート自体を認識結果に応じてスケール変化させるため、計測距離に対し一定の頑健性を有した方式となった。

## 5. おわりに

本稿では、画像処理を用いた喫水自動読取り方式を提案した。同方式は、正規化相互相関による可変テンプレートマッチングを用いることにより、喫水標の拡張に頑健、即ち撮影距離に対してロバストな方式となった。また同マッチング方式は明るさの正規化を行なうため、輝度に対しても頑健な方式となった。

現状の課題としては、フレーム間の差分を利用した読取りの高速化、透視変換行列を用いたマッチングによる撮影角度への対応、喫水線のより理論的な算出等が挙げられる。今後随時これらに改良を加え、より実用性の高い方式を提案・開発していく予定である。

## 6. 参考文献

- (1) 航海便覧編集委員会：航海便覧 3 訂版，p. 783，海文堂出版，1991.
- (2) 宮本榮：図解 船舶・荷役の基礎用語，p. 102，成山堂書店，2008.
- (3) 運航技術研究会：載貨と海上輸送，p. 126，成山堂書店，2000.
- (4) デジタル画像処理編集委員会：デジタル画像処理，画像情報教育振興協会，2004.
- (5) Kouhei HIRONO, Wataru SERA, Masaki FUCHI and Kinzo INOUE：A Theoretical Study of the Draft Reading Device，日本航海学会論文集，No. 114，pp. 165-170，2006. 3.