航海環境時系列画像からのリアルタイム船舶抽出手法

周立輝*・新保雅俊**・大島正毅***

Method for Real-Time Detecting Ships using Navigational Image Sequence

Riki SHU, Masatoshi SHIMPO and Masaki OSHIMA

Abstract

This paper proposes a method for detecting ships on real-time using navigational image sequence. As pointed out in the previous reports, our proposed method has problem in processing speed performance, although it is precise precision.

First, this paper analyzes this problem, and proposes a new method for solving them.

Our method distinguishes ships from the character of a moving vector of region. A moving vector is calculated on matching process of region. Matching process takes enormous-processing time.

On the other hand, the Lucas-Kanade method (LKM) is popular version two-frame differential methods for optical flow estimation. The LKM can get a pixel flow first. We examined that applying the LKM in substitution for matching process, and we proposes a new method for detecting ships on real-time. We inspected an effect of proposed method by an experiment.

Keywords: Image processing, Information system, Real-Time, Image sequence, Navigation system

キーワード: 画像処理, 情報処理, リアルタイム, 時系列画像, 航行システム

1. はじめに

海上保安庁の統計によると海難に遭遇する船舶隻数は過去 5 年間で減少傾向にあったが、平成 18 年の海難船舶隻数は 2544 隻となり平成 17 年に比べて 62 隻増加した。海難原因の 7 割は人為的要因であると分析されており、その中でも見張りの不十分を原因とする衝突事故が最も多い⁽¹⁾。

筆者らは画像処理の技術を用いて安全な航行を支援する「航海情報システム」の構築⁽²⁾に取り組んでいる。これは海上の見張りやレーダ、AIS 等の航海機器の監視を画像処理技術で支援するシステムである。具体的には海上の見張りにおいてはカメラで撮影した画像から他の航行船舶を抽出することで見張りの支援を行う。レーダの監視においては小型船舶等の

近距離では確認し難い船影の抽出を支援する。ARPA は比較的遠方の大型船舶の動向把握に有効であるが、近接する小型船舶等の抽出が可能になることで衝突の防止により効果がある。レーダ、AIS、ECDIS 等の既存の航海機器類と、画像処理で得た情報を統合することで、それぞれの情報が持つ欠点を補完することが出来、より信頼性の高い「航海情報システム」の実現が可能となる。

本論は海上の見張り支援に注目し、カメラで撮影した画像から船舶をリアルタイムに抽出する手法を提案する。すでに画像から船舶を抽出する手法が提案されている⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。これらの手法は船上で撮影した画像から効果的に船舶を抽出することが可能であったが、処理のための演算負荷が重く結果がリ

* 学生会員 東京海洋大学 (〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6)

** 正会員 三菱電機株式会社 (〒100-8310 東京都千代田区丸の内 2-7-3) shimpo-masatoshi@mdis.co.jp

*** 正会員 東京海洋大学 (〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6)

リアルタイムに得られないという欠点があった。処理に用いたコンピュータ装置によっては船舶の抽出処理に数十秒掛かることもあった。そこで本論は既存の手法では演算に時間が掛かりすぎて問題となっている照合演算処理の替わりに、画像間の画素の移動を高速に演算できる Lucas-Kanade 法を用いてリアルタイムに抽出処理が可能な新しい船舶抽出手法を提案する。東京湾で撮影した画像で既報と同様な処理実験を行い、その効果を検証する。

以下に本論の構成を述べる。2 章では既存手法の概要を述べて、問題点と高速化のための対策を述べる。3 章ではリアルタイム化の具体的な手法を説明する。4 章では実験に用いたシステムについて述べて、実画像を処理した結果を示す。5 章で実験結果を考察し、6 章でまとめる。

2. 船舶抽出のリアルタイム化

2.1 既存手法

既存手法のフローチャートを Fig.1 に示す。

Fig.1 Flow chart of existing method.

以下に各処理の概要を述べる。

1. 明度情報を使って画像全体を領域に分割する。
2. 個々の領域にラベルを付加する。
3. ラベルを付加した領域をテンプレートとして任意時間後の画像上で照合処理を行う。
4. 照合の結果から各領域の移動ベクトルを求める。
5. 移動ベクトルの持つ性質から船舶の領域を抽出する。

Fig.1 で示した処理のなかで最も時間を要するの

は照合処理である。照合処理とは分割した領域をテンプレートとして、任意時間後の画像の中で移動させながら、最も類似する場所を求める演算処理である。このときに用いる算出式を式(1)に示す。

$$R(u,v) = \sum_{m=0}^{TX-1} \sum_{n=0}^{TY-1} |I_{(u,v)}(m,n) - T(m,n)| \quad (1)$$

式(1)は、テンプレート画像 T と被照合画像 I との残差 R を求める算式である。ここで $I_{(u,v)}(m,n)$ は被照合画像の明度を表し、 $T(m,n)$ はサイズが (TX, TY) のテンプレート画像の明度を表す。何れも画素単位である。 (u,v) は被照合画像 I 上における、テンプレート画像 T の左上座標を示している。 R が最も小さくなる I の座標 (u,v) を照合点として求めることが出来る。この様な照合処理によって領域の正確な移動場所を求めることが出来る。

処理時間を短縮する方法として次のような方法がある。

1. 微小時間のフレーム間では領域の移動する範囲は限られることから、演算する (u,v) の範囲を限定することが出来る。
2. 残差逐次検定法を用いて不要な演算を省略し、高速化を図る手法が報告⁽⁷⁾されている。

しかし照合処理は分割した領域の全てについて、個々の領域の予想移動範囲にわたって演算を実行しなければならず、冗長な処理であることは否めない。実験による処理時間の計測結果からもリアルタイム化には不向きな手法といえる。この照合処理を改善することが高速化にとって最も重要な課題である。

本論は膨大な処理時間を要する照合処理に替えて、高速に画素の移動ベクトルを求め、且つ同等の精度を得られる方式を用い、リアルタイムに船舶を抽出出来る手法を提案する。

2.2 提案手法の概説

フレームレートが 100Hz から 1000Hz といった高速なビジョンチップが試作されている⁽⁸⁾。このようなビジョンチップを搭載したカメラでは、撮影したフレーム間の画像変化が小さいため各種の画像処理手法を簡単に実現することが出来る⁽⁹⁾。しかし本論では実用性を考慮しこのような特別なチップを搭載したカメラではなく、通常のビデオ信号のレート (30Hz) で撮影されるカメラの画像を対象とする。

フレーム間の画素の移動を高速に算出する手法として Lucas-Kanade 法が知られている⁽¹⁰⁾。この

手法は物体が移動する際に、微小な時間間隔では画素の輝度は変化しないという前提に基づいている。手法の詳細は 3.3 節で述べるが、この手法を用いれば画素の動きを高速に求めることが出来る。これは一般的にはオプティカルフローの抽出とも呼ばれている。

フレーム間での画素の動きが求まっても、これだけでは必要な移動ベクトルは求まらない。Lucas-Kanade 法は微小時間間隔（概ね 0.03 秒 - 0.04 秒）での画素の動きを対象としている。このため分析に必要とされる時間間隔（概ね 0.3 秒 - 0.6 秒）での動きを求めるためには同手法で求めた画素の動きを相当する時間分だけ連結する必要がある。この連結処理の結果から移動ベクトルの直進性等の性質を求めることが出来る。

既存の手法では画像を領域に分割することによって船舶の領域を推定した。これに対して本提案手法では同じ移動ベクトルを持つ画素の集合を対象とする。画像上では船舶の周辺は輝度の変化による縁（エッジ）として表れるので、この縁の動きを船舶の動きとして捉えることが出来る。

海面や天空等の輝度の変化が様な部分は処理の対象外として不要な演算を省略することが出来る。縁の動きを移動ベクトルとして捉え、その移動の特徴から船舶、波そして背景を分離して船舶のみを抽出する。この分離手法については既報の方式⁽¹¹⁾を踏襲する。

3. 提案手法

3.1 提案処理フロー

3.1.1 フローチャート

提案手法のフローチャートを Fig.2 に示す。

Fig.2 Flow chart of proposed method

3.1.2 画像入力

画像は時系列画像から等間隔に入力する。全画像を対象にしてオプティカルフローを計算しても、動きが非常に小さすぎるため特徴がつかめない。そこで本論では先の報告を参考に 4 フレームの間隔を置いて画像を入力する⁽⁵⁾。

時系列画像上から 4 フレームの間隔で画像を入力し、各画像間のオプティカルフローを求める様子を Fig.3 に示す。

Fig.3 Input of frames and optical flow estimation.

3.1.3 オプティカルフローの抽出

オプティカルフローとは画像中の各画素における速度ベクトルの集合である。その計算法は様々で、差分法、照合法、勾配法などがあり、対象物の性質から適切に選択する必要がある。本論では勾配法の一つである Lucas-Kanade 法を用いた。勾配法とは動画像から時間的に隣接した 2 フレームを取り出し、対象画素の空間的、時間的明るさ勾配をもとに速度ベクトルを計算する方式である。2 つのフレームからオプティカルフローを求める関係は Fig.3 に示す通りである。

3.1.4 ベクトル判別による船舶の抽出

Fig.3 に示すように 3 つのフレームからこれらの間の 2 つのオプティカルフローを算出することができる。このようにして求めたオプティカルフローを

連結して画素の移動ベクトルを求める。その中から直進性のあるベクトルを船舶の候補として抽出する。Fig.4 に移動ベクトルを連結する様子を示す。

Fig.4 Connection of vectors from 2 frames.

3.2 前処理

3.2.1 モノクロ化

オプティカルフローは画像の明度勾配を手がかりとした速度ベクトルの計算法であるので、撮影した画像をモノクロ化する。

3.2.2 平滑化

画像から明るさ勾配を精度よく計算したい場合には、平滑化により雑音を抑える必要がある。本論では平滑化の度合いを調節しやすいガウシアンフィルターを用いる。

3.3 Lucas-Kanade 法

本節ではオプティカルフローの算出に用いる Lucas-Kanade 法を説明する。

ある位置 (x, y) 時間 t の画素の明るさを $I(x, y, t)$ と表す。微小時間ずれた画素の明るさは $I(x+dx, y+dy, t+dt)$ と書ける。これをテイラー展開すると式(2)のようになる。

$$\begin{aligned} I(x+dx, y+dy, t+dt) \\ = I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} dx + \frac{\partial I}{\partial y} dy + \frac{\partial I}{\partial t} dt + \dots \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)の2次以降の項を無視すると式(3)となる。

$$\begin{aligned} I(x+dx, y+dy, t+dt) \\ = I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} dx + \frac{\partial I}{\partial y} dy + \frac{\partial I}{\partial t} dt \end{aligned} \quad (3)$$

等明るさ仮定により、ある画素 (x, y) の輝度 I は dt 後の移動先 $(x+dx, y+dy)$ でも同じであるとして式(4)が成り立つ

$$I(x+dx, y+dy, t+dt) = I(x, y, t) \quad (4)$$

よって式(3)は式(5)となる。

$$\frac{\partial I}{\partial x} dx + \frac{\partial I}{\partial y} dy + \frac{\partial I}{\partial t} dt = 0 \quad (5)$$

ここで x, y 方向の速度ベクトルを式(6)で定義する。

$$\frac{dx}{dt} = u \quad \frac{dy}{dt} = v \quad (6)$$

式(5)を dt で割ると

$$\frac{\partial I}{\partial x} u + \frac{\partial I}{\partial y} v + \frac{\partial I}{\partial t} = 0 \quad (7)$$

この式(7)より導かれる速度ベクトル (u, v) を、一般に勾配法によるオプティカルフローと呼ぶ。

式(7)だけでは速度ベクトルを一つに定めることができない。ここで様々な条件を付加することによって解くことができる。Lucas-Kanade 法は、隣接する画素は同じ速度ベクトルをもつと仮定することにより、高速に解を導き出せる。

式(7)を式(8)で書き直し、隣接する画素がすべて同じ速度ベクトル (u, v) を持つと仮定すると式(9)が成り立つ。

$$\frac{\partial I}{\partial x} = I_x \quad \frac{\partial I}{\partial y} = I_y \quad \frac{\partial I}{\partial t} = I_t \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} I_{x1} & I_{y1} \\ I_{x2} & I_{y2} \\ \vdots & \vdots \\ I_{xn} & I_{yn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{t1} \\ I_{t2} \\ \vdots \\ I_{tn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

式(9)を最小二乗法により解くと式(10)になる。

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum I_{xi}^2 & \sum I_{xi} I_{yi} \\ \sum I_{xi} I_{yi} & \sum I_{yi}^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\sum I_{xi} I_{ti} \\ -\sum I_{yi} I_{ti} \end{bmatrix} \quad (10)$$

この (u, v) が求める速度ベクトルである。

3.4 ベクトル判別

3.4.1 ベクトルの直進性

連結された2本のベクトルの直進性を判定するために内積演算を行う。演算結果は-1から1の範囲をとる。

3.4.1 エッジ条件の付加

画像中の急激な輝度変化がある場所では Lucas-Kanade 法の信頼度が低いことが知られているので計算からは除外する。輝度勾配を計算し、勾配が急な場所は処理の対象としない。

4. 実験結果

4.1 実験システム構成

4.1.1 ハードウェア構成

実験に使用した機器はビデオカメラ、IEEE1394 ケーブルおよび PC である。ハードウェア構成の写真を Fig.5 に示す。

Fig.5 Hardware component.

4.1.2 ソフトウェア構成

プログラムは Visual C++を用いて構築した。動画の入出力には Intel Open CV のライブラリーを使用した。

4.2 実験データ

実験には東京湾を航行中にビデオカメラで撮影した、9 日間で延べ 18 時間分の録画データを用いた。画像の一例を Fig.6 に示す。それぞれ撮影した画像の 1 フレームを示している。撮影場所は a)浦賀水道航路、b)館山沖、c)相模灘、d)金谷沖近辺である。

4.3 処理画像

本論の手法で処理した結果の画像を Fig7 に示す。船舶として抽出された部分を白抜きで示している。

4.4 処理時間

画像を入力して結果を出力するまでの処理時間を処理項目毎に Table.1 に示す。

Table.1 Result of processing time.

(Second)

Scene	Preprocess	LKM	Decision by moving vector	Total
a	0.01	0.09	0.52	0.62
b	0.01	0.09	0.53	0.63
c	0.01	0.09	0.53	0.63
d	0.01	0.09	0.54	0.64

各シーンで倍率や背景が異なるが画像処理に要

する時間はほぼ平均して 0.63 秒であった。処理の中ではベクトル判定に最も時間を要している。

5. 考察

5.1 Lucas-Kanade 法について

本論は領域の照合処理という膨大な時間を要する既存手法の替わりに、画素のオプティカルフローから移動ベクトルを求めるという手法を提案した。この手法の中核となるのが Lucas-Kanade 法である。

Lucas-Kanade 法は短時間間隔のフレーム間で且つ輝度の変化がある部分について高速にオプティカルフローを求めることが出来る。しかし、この条件に当てはまらない場合は良好な結果が求められない。そのため一旦求めたオプティカルフローのベクトルを連結して移動ベクトルとする加工が必要となる。実験ではこの様な処理を加えてもトータルで良好な高速性能を発揮することが出来た。また抽出性能も既存手法と同等であるため、今後見張り支援システムを構築する際に抽出手法の中核として期待することが出来る。

5.2 抽出性能

4 章で示した実験の結果から以下の現象が判明した。それぞれの現象が発生する理由と対策を述べる。

1. 船体の周辺部分が抽出される。

本論で用いた Lucas-Kanade 法はグラデーションのある領域、すなわち輝度の変化がある領域のベクトル場を高速に求める手法である。従って一様な明るさの領域については移動ベクトルを求めることが出来ない。このような機能上の制限はあるが、船体の周囲部分は船体と同様な動きをしているので船舶として抽出することが出来る。

もし船体全体を画像上で確認する必要がある場合は抽出した画素の周辺をさらに領域分割、結合の手法等により船体を定義する必要がある。この処理は抽出後の後処理となるので抽出毎に定義するのはリアルタイム化には不利である。船舶の存在を確認する目的は本手法でリアルタイムに達成できるので、船体の定義は必要に応じて後処理の方が望ましい。

2. 波が誤って抽出されることがある。

波が船舶と同様な直進運動をすると船舶として誤抽出されてしまう。この現象は近距離で撮影された波に発生しやすい。実験では色々な条件で海上を撮影したため、直近の海面等、処理の必要がない部分まで含むことがあった。本来このような部分は撮影の必要がないので、撮影範囲を限定することで相当数の波の誤抽出を防ぐことが出来る。

(a)

(a)

(b)

(b)

(c)

(c)

(d)

(d)

Fig.6 Experimental data.

Fig.7 Result of proposed method.

誤抽出してしまった波もある程度の時間（数秒以内）の経過により形状が変形する⁽¹²⁾。従ってこのような部分は抽出処理を一定時間継続することで消失するので波として除去することが出来る。

5.3 処理時間性能

第4章の処理時間の測定結果で示した通り、様々な撮影シーンを処理した結果、処理時間は0.62秒から0.64秒の範囲にあった。処理に数十秒要した既報のシステムに比べ大幅な高速化が実現できている。この処理性能ではほぼ実用上の性能を満足しているといえるが、処理結果の画像を観察したとき表示が一瞬止まる違和感を受けることがある。

完全なリアルタイム化を図るためにはビデオ信号のフレーム間に相当する約0.033秒以内に全ての処理を完了することが理想的である。この目標値は抽出処理の結果を次の画像を待たせることなく表示できる性能で、モニターを通して表示する構成であれば画像にまったく違和感がないシステムが実現できる。このためにはCPUの高速化、高速演算処理ボードの活用、画像入出力ポートの高速化等の対策があげられる。

5.4 実用性について

本システムは波などの誤抽出を改善する必要があるものの、船舶についてはほぼ確実に抽出できている。実際に船橋で見張り支援システムとして使用する場合にはシステムが抽出した船舶の存在を航海士の注意を喚起するために伝達する仕組みが新たに必要となる。実用性に関してはこのような航海士とのインターフェイスが新たな課題である。

6. むすび

本論はLucas-Kanade法による高速なオプティカルフロー算出手法を用いたリアルタイム船舶抽出手法を提案した。実験により、本論の提案手法は既報の手法に比較して高速に船舶を抽出出来ることを示した。船舶の抽出機能や処理時間の性能には改善の余地があり、更なる高機能化が期待出来る。これらは実用化の際の課題とする。今後は様々な条件下で撮影された画像を処理して抽出システムとしての信頼性の向上に取り組む。

画像処理による航海の支援としては前述のように見張りの支援以外にレーダやAISの監視支援があげられる。本論で提案するような画像処理から得た情報と既存の航海機器とを統合した「航海情報システム」により、海難が減少することを熱望する次第である。

第である。

参考文献

- (1) 海上保安庁：広報資料「平成18年における船舶海難及び人身事故の発生と救助の状況」
<http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/tokei/index>.
- (2) 新保雅俊：航海情報システム化のための時系列画像処理に関する研究，東京海洋大学学位論文，2004.9
- (3) 石村信道，林祐司，笠原包道，和気博嗣：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88号，pp.259-268, 1993.3
- (4) 今津隼馬・藤坂貴彦・福戸淳司・大竹祐一郎：航行情報の統合と表示に関する研究，日本航海学会論文集109号，pp133-140, 2003.9
- (5) 新保雅俊，平澤雅人，大島正毅：時系列画像の複雑背景下における抽出領域のフレーム間対応を用いる航行船舶の抽出，日本航海学会論文集111号，pp113-118, 2003.9
- (6) 新保雅俊，平澤雅人，大島正毅：マルチセンサーにより取得した航海環境時系列画像からの航行船舶の抽出，日本航海学会論文集114号，pp.65-72, 2006.3
- (7) 高木幹雄，下田陽久監修：画像処理ハンドブック
- (8) 小室孝，石井抱，石川正俊，吉田淳，“高速対象追跡ビジョンチップ”，信学論(D-II)，vol.J84-D-II, No1, pp75-82, Jan. 2001.
- (9) 渡辺義浩，小室孝，鏡慎吾，石川正俊，“ビジョンチップのためのマルチターゲットトラッキングとその応用”，信学論(D-II)，vol.J86-D-II, No10, pp1411-1419, Oct. 2003.
- (10) Lucas B D and Kanade T, An iterative image registration technique with an application to stereo vision. Proceedings of Imaging understanding workshop, pp 121--130. 1981.
- (11) Masatoshi SHIMPO, Yuefeng LU, Masaki OSHIMA, "A Detection Method of Moving Ship from Navigational Image Sequence," The International Association of Institute of Navigation, 11th IAIN World Congress, 2003.
- (12) 新保雅俊，大島正毅：フレーム間の照合性を手掛りとする時系列画像からの航行船舶の抽出，日本航海学会論文集108号，pp113-118, 2003.9

質疑応答

奥田成幸(海技大学校)：

どの程度抽出できるのでしょうか。

周立輝：

画像上に映っている船舶で、形状が認識できる大きさのものはほぼ抽出出来ます。遠方の船舶で画面上で数ピクセルの小さなものは困難ですがその場合は望遠撮影に切り替えて拡大することで抽出が可能となります。本提案手法はむしろ波の誤抽出対策が問題となっております。

奥田成幸(海技大学校)：

波は長時間観測すれば抽出されることはないと考えてよいのでしょうか。

周立輝：

波は形状が変化するため通常数秒以内に消失します。従って抽出を継続して、取捨選択すれば船舶だけを特定することが出来ます。

福戸淳司(海上技術安全研究所)：

波の除去に苦勞されておりますが、波を写さないような撮影条件の検討をされておりましたらお教えください。

新保雅俊：

波の誤抽出で問題となるのは主に直近の海面部分です。この付近の海面は波頭が明確に映り、一定の方向に運動する波が多いという特徴があります。しかし極めて距離が近い範囲は処理する必要がありますがありませんので、撮影範囲を限定することは波の除去対策として有効です。

また赤外線カメラを用いると白波の除去に有効であることが分かっています⁽⁶⁾。

福戸淳司(海上技術安全研究所)：

動きのない物標に対応するための工夫等がありましたらお教えください。

新保雅俊：

停泊中の船舶や浮標などが対象になると思われます。本論で扱う画像は動揺する船体から撮影していますので、画像全体に動きがあります。そのため動きの少ない領域を一様に背景として認識しています。このとき、水平線を境に上側を陸地、下側を海面上の物標とする判別が有効と考えられます。