海上観測画像を用いたフレーム間差分による動体認識

桐谷 伸夫*・福戸 淳司**

Recognition Technique of Moving Objects by Interframe Differential Method using Marine Observation Imagery

Nobuo KIRIYA and Junji FUKUTO

Abstract

In the field of the remote sensing and the image processing, the recognition technique of the moving object is recognized as an important technological factor. Because the problem of the security is being watched in the recent years, this recognition technique has become increasingly valued in the real-time processing of the video image data. The existing condition on the maritime technology field, however, have never reached a level at which it can be put into practical use. The factor of the ship movement on the sea is one of the causes for this embryonic stage. Therefore, the development of the recognition technique of the moving object on the sea is necessary for the safety at the sea.

This paper shows a technique for the recognition of the moving objects by the interframe differential method for the video image data. The interframe differential is a well-known technique in the image processing. And, this computational algorithm is a very simple and suitable way for the real-time processing of the video image data. The special note is the apply of the template matching for the image positioning in this paper. As a result, the geometrical corrected images based on the positioning made the recognition of moving targets possible on the real-time. This algorithm is introduced for the navigational obstacle detection system by NMRI and useful in the recognition of the other ships in passage.

Keywords : Remote Sensing, Interframe differential, Template matching, Geometrical correction

キーワード: リモートセンシング、フレーム間差分、テンプレート・マッチング、幾何補正

1. はじめに

リモートセンシング技術、あるいは画像処理技術の分野において、動体抽出・認識は重要な技術要素として一般的に広く認知されている。特に近年ではセキュリティ問題への関心の高まりに応じて動体抽出技術は、特にリアルタイム処理を前提とした動画映像の処理において重要な位置を占めるものとなっている。例えば、陸上建物のセキュリティ用監視カメラなどでは、既に自動動体抽出・認識機能を本体に付加した製品なども民生用として提供されているのが現状である。言うまでもなく、船舶においても周辺海域を航行する他船の動静を認知することは重

要であり、レーダ ARPA 装置や目視観測による海上監視業務が昼夜行われている。

光学センサ情報を用いた航行船舶の抽出・認識技術については、これまでも鈴木や新保ら^{(1), (2), (3)}によって進められ、種々の技術的な提言や実海域観測データを用いた解析により有用な成果を上げている。他方、海上技術安全研究所では、AIS (Automatic Identification System) 研究^{(4), (5)}の一環として複数の画像センサを使って海上の監視を自動的に実行することを目的とした航行障害検出システム (Navigational Obstacle Detection System) の研究が実施されている。このシステムには、航行他船

* 正会員 海上技術安全研究所 (〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1) kiriya@nmri.go.jp

** 正会員 海上技術安全研究所 (〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1) fukuto@nmri.go.jp

情報を観測画像から検出するために種々のアルゴリズムが導入されているが、基本機能として動画映像から動く対象物をリアルタイムに自動抽出して認識するための画像処理機能が装備されている。

新保らの取り組みはカラー画像を対象として、いわば多チャンネル情報を有効に利用し、移動ベクトルの判定を用いて対象物の分離・抽出を実行しており、高い精度を持つものである。これに対して航行障害検出システムは、リアルタイム性の高い複数のアルゴリズムを起動させることをコンセプトとしたことから、基本的手法ではあるが計算負荷の小さなフレーム間差分の利用を考えた。本論文では、この海上観測画像を対象とする動体抽出・認識アルゴリズムから、リアルタイム動作を指向したマッチング処理に基づく幾何補正・位置合わせによるフレーム間差分処理について報告する。

2. 動体抽出の基本アルゴリズムと処理

2.1 フレーム間差分の概要と問題点

時系列連続画像である動画映像に対する動体抽出技術⁽⁶⁾として、フレーム間差分を利用した動体抽出技術は最も基本的な手法であり、アルゴリズムとして計算負荷が軽いため、リアルタイム処理を指向する場合に有効な手段となるものである。概念的に言うならば、差分画像 $d(x, y)$ とは、2 枚の連続画像 $f(x, y)$ と $g(x, y)$ の差分によって得られるものであり、基本的には次式によって定義される。

$$d(x, y) = f(x, y) - g(x, y) \quad (1)$$

フレーム間差分による動体抽出では、2 枚以上の連続画像を使用するが、大別するならば以下のように整理される。

- (1) 対象動体の無い背景画像をベース画像として保持し、それに対して侵入物のある最新画像を差分処理する。
- (2) 2 枚、あるいは 3 枚の連続画像を使ってフレーム間差分を実行する。

(1)、(2)いずれにしても計算手順は単純であることから、フレーム間差分はリアルタイム処理を指向する場合に使い勝手が良い手法である。

航行障害検出システムの画像センサによって観測された実海域での画像例を Fig. 1 に示した。これは船首前方を航過する船舶を捉えたビデオ映像を一定時間間隔でキャプチャーし、その連続静止画像から 0[sec.] と 10[sec.] 時点の画像を合成したものである。また Fig. 2 には、観測中にカメラ視線が船体運動によって移動した状況を遠景背景の山稜を手掛かりとして評価した結果を示した。観測時間内にお

Fig.1 Example of continuous images on marine observation

Fig.2 Situation of unsteadiness of images by vessel motion

いて、画面が船体運動により約 50[Pixel] 移動すると同時に約 20[Pixel] の上下変動があったことが明らかである。また当然のことながら、この間に海表面もまた波や太陽光反射などによって変化を続けている。これらの変動が、フレーム間差分処理による動体抽出・認識の実行において大きな障害となることは言うまでもない。従ってフレーム間差分を使った動体抽出・認識処理の実現のためには、これらの海上観測画像が固有に持つ問題を解決した処理アルゴリズムの導入が重要な前提条件となる。

2.2 海上観測画像を使ったフレーム間差分による動体抽出処理

Fig. 3 に本論文で採用した 3 フレーム画像による動体抽出手法のアルゴリズムの概念を示した。すなわち時間間隔 Δt をもって連続観測された画像から 1 枚目の画像 (f_{t-1}) と 2 枚目の画像 (f_t) による差分画像 (d_{12}) を計算し、更に 2 枚目の画像 (f_t) と 3 枚目の画像 (f_{t+1}) による差分画像 (d_{23}) の計算を実施する。次にこれらの差分処理結果として得られる 2 枚の差分画像 (d_{12} , d_{23}) の論理和、換言するならば 2 枚の画像で共通して動体と推定される反応

Fig.3 Concept of moving target detection by interframe differential method

Fig.4 Example of continuous images by marine observation (f_{t-1} , f_t , f_{t+1})

Fig.5 Example of mask image to detect moving target

Fig.6 Example of target detection

から画像 (d_{123}) を得る。すなわち画像 (d_{123}) は、2枚目の画像 (f_t) における動体の形状を抽出したものであり、これを画像 (f_t) に対するマスク画像として適用することにより動体の抽出を行う。

フレーム間差分処理の実行結果を Fig.4 と Fig.5、そして Fig.6 に示した。ここで Fig.3 に示したアルゴリズムに従って Fig.4 の中央画像 (f_t) に対する動体抽出のマスク画像として生成された画像が Fig.5 であり、このマスク画像を手掛かりとして画像 (f_t) における動体、すなわち航行船舶の自動認識が Fig.6 のように実現されている。なお、ここで

処理に供した連続画像は、Fig.2 で得られた結果を用いて船体運動によるカメラの移動を幾何補正した位置合わせ処理済みの画像である。

動体抽出処理において実際に供されるマスク画像は本来2値化画像であり、例示した Fig.5 は処理過程で施される処置を省いた画像、いわば様々な雑音によって汚れた画像である。従って、海表面の波による変動も航行船舶と同様に動体の反応として現れている。このような雑音要素は、海上観測画像を用いた動体抽出において大きな問題となる。たとえ観測時間間隔が微少であっても、連続画像間での波面

Fig. 7 Example of matching model

Fig. 8 State of reflected Level by band on matching model area

の動きや太陽光反射による雑音要素の影響は大きい。しかし基本的に動的な変化であっても、これらの雑音要素は航行船舶などと比較するならば、近距離海面における微小画素部分要素の変化であることから、平滑化などのフィルタリング処理や波の輝度レベルの特性を評価したしきい値処理などによって除去することができる。

構築したシステムでは、様々な処理によって雑音除去を実施すると同時に膨張・収縮処理などによるマスク画像の穴埋め処理も実施している。加えてマスク画像生成後に実施しているラベリング処理において、認識された動体の形状と大きさを評価することから、構成画素の状況によっても雑音要素を削除できる。また、採用したフレーム間差分処理は連続画像に対する動画処理であることから、ラベリング処理結果に基づく個別の追跡によって動体認識の検証を実行することも可能である。

2.3 テンプレート・マッチング処理による画像動揺の補正

前述したようにフレーム間差分処理によってリア

ルタイムでの航行他船の認識を実行するために航行障害検出システムにおいては、遠景背景をモデルとしたテンプレート・マッチング⁽⁷⁾による画像動揺の評価と2次元アフィン変換⁽⁸⁾による位置合わせ幾何補正のリアルタイム処理実施の手法を採用した。例えばFig. 1のように山稜、あるいは雲などの動揺状況を評価するために充分な手掛かりとなる遠景背景画像を持つ場合には問題とならないが、これは決して一般的な状況ではない。そこで雲量ゼロといった晴天条件は除外するが、曇天条件でのテンプレート・マッチングによる画像動揺の評価を実施した。完全な晴天で雲ひとつなく、他の遠景背景もない状況においてはマッチングモデルを設定できないことから、画像動揺評価による位置合わせのアルゴリズムは起動できない。しかし航行障害検出システムとしては、種々の船舶の形状自体をマッチング・データベースとして保持していることから、これをモデルとしたテンプレート・マッチングによって、フレーム間差分処理より高速なアルゴリズムが常駐動作することで他船認識可能な多重構造となっている。

Fig. 7は横切り船を含む前方観測カラー画像の例であり、白ワクで示した部分が動揺補正に供するためのマッチングモデル画像領域である。画像より明らかに目視観察ではマッチングモデルとして設定した画像領域にマッチングモデルとなるような形状的な特徴は決して明らかではない。一般的にテンプレート・マッチングにおいてマッチングモデルは、例えば2値化処理によって容易に判別できるような特徴的な形状情報を持つことが必要条件となるが、海上を航行する船舶での観測画像において、水平線上の遠景背景に特徴的な画像を得ることを常に期待することはできない。そこで航行障害検出システムにおける動体抽出機能では、観測画像をRGB 3バンドのマルチバンド情報として利用することを実施した。すなわち、それぞれの波長帯が固有に持つ大気透過性によって得られる画像の特徴、あるいはマルチバンド情報を活用したバンド間演算によって特徴的な遠景背景画像、マッチングモデルを得ることを考えた。

Fig. 8は、Fig. 7に示されたモデル画像領域に注目して画素毎の色情報をRGB分離させた3バンド情報とし、反射輝度を8ビットの量子化したレベル値別に累積画素数を示したものである。マッチングモデル画像が特徴的な性質を持つことをFig. 8において考えるならば、構成画素の持つ輝度レベル値の構成が多様であること、すなわち図中での分布の広がり大きいことやレベル値別の累積画素数の変化が大

きいことが有効なマッチングの実施に必要となる。

マッチングに供するバンド選択の検証を目的として実施したマッチング処理とその結果を Fig. 9 及び Table1 に示した。空間上に3ヶ所（左右、中央）の検証用のマッチングモデルを設定し、Fig. 9 の観測時点より5秒後の観測画像に対して、3つのモデル毎に RGB それぞれのバンドに対してのマッチング処理を実行した結果が Table 1 である。ここで XY 方向の変位量や回転角度に注目するならば、時間経過に対するモデル領域の移動量が画素レベルで十分に評価されており、マッチング結果を手掛かりとした動揺補正が、曇天空間に対するモデル領域設定でも有効であることが明らかである。また画像間でのモデルの類似度を示すマッチング率においても高い確度でマッチングが実現されており、空間上に設置したモデルの変動を手がかりとして画面全体の動揺状態を推定することが十分に可能である。

バンドの選択としては、Fig. 8 及び Table1 の状況、特にマッチング確率から、この場合では R バンドによる単バンド画像をマッチングモデル画像として採用することが有効である。しかしマッチング対象画像としては、他の単バンド画像やバンド間演算画像も考えられ、状況に応じた選択が可能なシステム設計が必要であり、重要である。

3. 海上観測画像による動体抽出・認識処理の動作結果と評価

構築した航行障害検出システムにおいて実行されている動体抽出と認識処理の手順を起動のタイミングに従って Fig. 10 に示した。画像の観測間隔は 0.5 秒であり、処理の起動間隔は 3 秒を実現している。大別するならば、動体抽出・認識処理は画像の観測順に従って 3 段階の工程を経て実現される設計である。完全なリアルタイム動作を実現するためには、全ての処理が画像観測の間隔の中に割り込むことが必要となるが、現状では Step3 の処理群の計算負荷が過大であるため、3 秒を基本クロックとする連続起動の形式となっている。この Step3 における処理では、差分計算からマスク画像の生成までが主な処理となるが、計算負荷としてはマッチング結果に基づく幾何補正の位置合わせ処理、そして雑音除去のためのフィルタリング処理、ラベリング処理の占める割合が大きなものとなっている。

Fig. 11 と Fig. 12 は、構築した航行障害検出システムにおいて動体抽出・認識処理が動作している状況を模擬したものである。テンプレート・マッチング処理の結果として得られる情報は、Table1 に示し

Fig. 9 State of test matching model area

Table1 Result of matching processing

Model	Left	Mid	Right
Band			
Red	-23 ^{*1}	-21	-22
	-5 ^{*2}	-5	-1
	-1.04 ^{*3}	-1.26	-1.34
	0.9752 ^{*4}	0.9726	0.9410
Green	-23	-21	-21
	-5	-5	-1
	-1.97	-1.14	-1.83
	0.9736	0.9759	0.9350
Blue	-21	-23	-23
	-5	-3	0
	-0.64	0.93	-2.21
	0.9751	0.9670	0.8940

※1 Horizontal displacement [pixel]

※2 Vertical displacement [pixel]

※3 Rotation angle [deg.]

※4 Probability of matching

Fig. 10 Flow of target detection and recognition

Fig. 11 Continuous images by geometrical correction and positioning based matching processing (f_{t-1} , f_t , f_{t+1})

Fig. 12 Mask image to detect moving target

た上下左右方向の移動量と回転角・傾きである。これらの情報を中央画像 (f_t) に対する変位量として画像 (f_{t-1} と f_{t+1}) にフィードバックして、位置合わせの幾何補正を2次元アフィン変換によって実施した結果を Fig. 11 に示した。図中で f_{t-1} 画像の上辺と f_{t+1} 画像の下辺に見られる階段状のジャギーは、マッチング処理で得られた画像の傾きを補正した影響を示している。ここで、 f_{t-1} と f_{t+1} 画像よりも小さなウィンドウを f_t 画像内に仮想的に設けるならば、位置合わせされた3枚の連続画像が得られたことになり、フレーム間差分処理の実行が可能になる。

Fig. 12 は、動体抽出・認識が実現されたマスク画像であり、雑音要素となる波の反射の除去も達成されたものである。しかし雑音除去の効果は完全でなく、画像右下に未だ小さな輝点を残した状況が見られる。動体抽出のアルゴリズムとして、残されたこのような輝点は探索目標である航行船舶と同等の認識となるが、動体の個別認識を実行しているラベリング処理の段階で、距離（画角位置）と大きさによって目標物から除外する機能が対応する。

動体の認識限界は、画像上での対象物の大きさによって制限されるものであり、採用した認識処理アルゴリズムの場合には 3×3 [Pixel] 以下の形状では

処理の過程において消失する可能性がある。当然のことながら、より高解像度の画像を使用するならば回避できることではあるが、処理データの増大による計算時間の問題が発生することになる。

遠景背景を手掛かりとしたマッチング処理において、モデル画像の管理は動的に処理されており、常に最新の画像との入れ替えが行われているため、カメラの動揺によって制限を受けることはない。また起動時やフレームアウトなどによりモデルが喪失したような場合には、デフォルト設定による新規モデルの自動生成が実行される設計となっている。

4. まとめ

航行障害検出システムは、画像センサにより海上監視作業を自動的に実行するシステムのプロトタイプモデルと位置付けられる。その基本機能として装備を検討した可視光画像情報による動体抽出・認識のリアルタイム処理技術を整理して以下に示す。

- (1) 動体抽出処理でリアルタイム動作を考える場合、フレーム間差分手法は有効なアルゴリズムとなるが、船体運動による海上観測画像の動揺を十分に補正することが必須要件である。

- (2) 動揺補正のマッチング処理における対象画像として可視カラー画像の RGB 分解によって得られる単バンド画像を適用するならば、特徴的な遠景背景を持たない曇天環境であっても幾何補正のための十分なマッチング結果が得られる。すなわち連続画像の幾何補正による位置合わせの手段として、水平線上の遠景背景をモデルとしたマッチング処理結果を手掛かりとすることは有効である。そして位置合わせを施した連続画像を使用することによって、動体の抽出や認識がリアルタイム処理として実現できる。
- (3) リアルタイム処理を目標としてシステム構築を実施した結果、現状は 3 秒を基本サイクルとして起動するパフォーマンスとなっているが、最新のハードウェアを導入するならば、アルゴリズム単体としての動作は 1 秒程度と考えられる。更に効率的なプログラミングと高速なライブラリ化を図り、画像観測間隔への割り込み処理による連続動作を実現することが高速なリアルタイム・システムとしての要件であり、今後の課題である。
- (4) 遠景背景を適用したマッチング処理によるフレーム間の幾何補正と位置合わせ処理のアルゴリズムは海上観測分野のみならず、カメラの動揺が障害となるような他のセキュリティー・システムの前処理としても有効な対策のひとつとなる。高速なライブラリ化により容易に汎用システムへの導入が可能な利便性を持つ。
- (1) 鈴木充雄・大島正毅：船上からの時系列画像を用いた航行船舶の検出実験、日本航海学会論文集、No.100、pp.13-19、1999
- (2) 新保雅俊・大島正毅：フレーム間の照合性を手掛かりとする時系列画像からの航行船舶の検出、日本航海学会論文集、No.109、pp.113-118、2003.9
- (3) 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検出、日本航海学会論文集、No.111、pp.181-191、2004.9
- (4) 福戸淳司、桐谷伸夫、今津隼馬：フェールセーフとしての衝突座礁回避システムの研究（中間報告）、第 3 回海上技術安全研究所研究発表会講演集、pp.209-212、2003.6
- (5) 福戸淳司：他船情報の自動収集の試みと展望、AIS セミナーテキスト「AIS の現状と展望」、AIS 研究会、2004.1
- (6) 安居院猛、長尾智晴：C 言語による画像処理入門、昭晃堂、2000.11
- (7) 桐谷伸夫：高分解能衛星画像データを利用した係留小型船舶の認識、日本航海学会論文集、No.112、pp.179-187、2005.3
- (8) 高木幹雄、下田陽久：画像解析ハンドブック、(財) 東京大学出版会、1995.11

質疑応答

石田 廣史（神戸大学）：

レファレンス背景のひとつとして雲を取り上げていますが、雲自体もかなりの速度で移動しており、また距離によっては画面上の相対速度は異なると思われるが、その処理や問題はどうか。

桐谷 伸夫：

マッチング結果において移動距離や回転角度が過大である場合には、制限値により処理が終了する動作がデフォルト設定されています。またこのアルゴリズムでは前提条件として、海上の移動体に対して相対的に静止物と見なせることを遠景背景の条件としているため、御指摘のように強風下で雲が著しく早く移動する条件下では機能できないこととなります。

全体としての航行障害検出システムでは、ひとつのアルゴリズムに完全に依存することを考えておりませんので、御指摘のような状況では並列起動している他の検出アルゴリズムが対処することを想定しております。

5. おわりに

陸上でのセキュリティ対応として開発されている一般的な監視システムは、既にビデオレートで動体抽出・認識を実行する水準にある。しかし海上観測は、陸上での固定カメラとは全く異なる観測環境にあるために処理が複雑となり、リアルタイム性を向上させることが困難な状況である。実用面から考えるならば、最低でも数 Hz 水準での動作を実現することが必要と考えられる。しかし海上観測画像が対象とする遠方画像では見かけ上の変位が小さくなることも考慮しなければならない。また航行支援の実現のためには、赤外線カメラなどによる夜間観測画像への適用などを更に考慮することが重要である。

本研究は、国土交通省技術研究開発委託費（総合政策局）により実施した。関係各位に深く感謝致します。

参考文献