

自由航走模型船の位置・運動計測のための画像解析システム*

— 第1報 船影の抽出と船首方位の検出 —

正会員 長谷川 和 彦**, 正会員 鈴木 啓 介***

Image Analysis System for Position and Motion Measurement of a Model Ship
First Report - Extraction of Ship Image and Detection of Its Direction

By Kazuhiko HASEGAWA (Member) and Keisuke SUZUKI (Member)

Image analysis is a technique to sense and/or extract appropriate physical features from an image. The authors have investigated a method to extract ship position and motion using a pair of VTR views taken from two CCD cameras. In this report, several methods already proposed for this purpose are reviewed, and a new direct image analysis method is proposed. Two case studies are made using the proposed method; turning tests of a tanker and a hydrofoil. Although extraction of ship image and measurement of turning trajectory is satisfactorily done in both cases, detection of heading angle is rather difficult in the case of small model ships such as a hydrofoil. Further improvement is to be planned in the following reports.

Keywords : Image Processing, Image Analysis, Computer Vision, Stereo Triangulation, Stereopsis

1. 結 言

船の設計段階における操縦性の予測が重要となってきた。拘束模型試験や操縦流体力の理論的推定によるその予測手法が種々提案されるにつれ、それを確認する手段として再び模型船の自由航走試験が重要となってくる。しかも、以前のように旋回試験やZ試験といった定型化した試験を実施してその特性を表すパラメータを求めるといった実験解析から、より多様な試験の実施とさらに細かい解析の必要に迫られている。

その目的のため、著者の一人は以前、自由な試験に対応するための模型船制御計測システムと位置計測システム¹⁾を開発した。特に後者は市販のビデオトラッカーと呼ばれる装置が利用できること、2次元平面内の運動であれば1台のカメラでさらに簡単にできるため、同じく市販されている超音波方式と並び模型船の位置計測手法として定着した。

しかしその後、低速時の操縦試験において位置のみならず横流速度をより高い精度で求めたい、あるいは水

中翼船の旋回試験などのように従来の試験装置では計測が不可能といった場合がでてくるにつれ、この手法のハードウェア上の限界やソフトウェア上の問題点などが出てきた²⁾。

そこで、改めて従来の手法、市販の装置にとらわれない新しい模型船の位置・運動計測システムの開発を目指し、種々の検討を行っている。本報ではまず、ビデオトラッカー装置がハードウェアで行っている船位の計算と追跡をさらに精度よくするための画像解析について述べる。

2. 自由航走模型船の位置計測手法

模型船の自由航走試験などにおいて用いられる位置計測手法には大きく分けて超音波方式とビデオトラッカー方式がある。ここでは、それらの方式とともに本研究で提案する画像解析方式の概略を説明する。

2.1 超音波(Ultrasonic)方式

模型船の船底に超音波発信機を取付け、水槽や池の適当な2点に定置式の受信機を設置し、発信機からの超音波を受信するまでの時間から三角測量の原理で船の位置を求める。発信周波数が十分で、受信機の設置位置が正確であれば、精度はよい。

欠点として、転覆実験などの大運動、水中翼船等船底

* 平成6年5月27日 関西造船協会春季講演会において講演、原稿受付 平成6年6月10日

** 大阪大学工学部

*** 川崎重工(株)(研究当時、大阪大学工学部)

が離水する場合、模型船に発信機アンブなどが搭載できない場合は使用できない。

2.2 ビデオトラッカー(Video Tracker)方式

模型船など目標物上にまわりと輝度や色相の違うもの(ランプや色紙など)を取付け、それを CCD カメラで撮影し市販のビデオトラッカーにより、ビデオの画像を二値化し、残った画素の重心位置から物体の画面上の位置を出力する。そして、その画面上での座標をカメラの位置や姿勢から座標変換し実際の目標の位置を求める。

欠点は、太陽光線等の水面反射で、十分な輝度差を得ることができない場合は物標の追跡がうまくいかないことが多い。また、求めた画面座標を空間固定座標に変換するためには、カメラの位置と姿勢(カメラ座標)を決定する必要があるが、そのために予め位置のわかっている数点とそれに対応する画像上の点から較正と呼ばれる作業が必要である。さらに、ビデオトラッカーの分解能やカメラの姿勢、位置に含まれる誤差が、50m 角程度の水面での計測では座標変換に大きく影響する²⁾。

2.3 画像解析(Image Analysis)方式

本法は、本研究で提案する画像解析(image analysis)とステレオ三角測量(stereo triangulation)、そして立体視(stereopsis)を用いた方式であるが、簡単のためここでは単に画像解析(image analysis)方式、そしてこの方式を用いた自由航走模型船の位置・運動計測システム

全体を模型船航跡画像解析システムと呼ぶことにする。本質的にはビデオトラッカー方式と同じである。ただし、その欠点を補うべく全ての作業を計算機上で行うとともに画面座標から空間固定座標への変換にあたっては較正を行わず、しかも非線形の最小自乗法を用いないでカメラ座標を決定する方法である。この方法の全体のフローチャートを Fig. 1 に示す。

本報ではその前半部を紹介する。

- (1) ビデオトラッカー方式と同じであるが、(3)でステレオ画像を用いるので2台のカメラを使う。
- (2) (1)で撮ったビデオの画像を何秒かおきにコンピュータに取り込み、画像解析により画面上の船の位置を求める。ビデオトラッカーが目標物体の輝度などを利用した二値化により輝点の追跡を行うとともにその重心位置を計算するのに対し、本法では直接コンピュータに画像を取り込み、物標そのものの抽出とその追跡を画像解析により行う。
- (3) (2)で求めた画面上の船の位置からカメラの位置や姿勢を用いた座標変換により実際の船の航跡を求める。ビデオトラッカー方式では較正してカメラの位置や姿勢を求めているが、本法では較正を行わない。

3. 画像情報処理

本論に入る前に、若干、画像情報処理の基本的なことについて触れなければいけないが、紙面の都合もあるので、ここでは次のように用語の使い分けだけを定義しておく。

一般に画像処理とはアナログ(光学・化学的)またはデジタルの写真またはビデオ映像の処理のことであるが、ここでは計算機で行うフィルタ、二値化、エッジ検出、細線化など主にその結果を人間が視覚的に見るための処理を狭義に「画像処理」という。「画像解析」とはそういった「画像処理」手法を用いたり、他の適当な方法によりある情報を画像から抽出することとする。すなわち、ある画像から二値化により、物標を背景画像から区別する作業は「画像処理」であり、その二値化された物標の画像重心を計算して出力すれば「画像解析」である。また、すでに与えられた情報からその物標が船であることを判定したとすればそれは「画像認識」であり、その船がこちらに向かってきており衝突することを警告すればそれは「画像理解」である。これらをまとめてここでは「画像情報処理」と呼ぶ。

「画像処理」の基本的な手法についてはすでに成書も多く出ているので省略する。

本報で扱う船影の抽出と追跡は「画像解析」の一例であるので、後述する。

「画像認識」、「画像理解」は人間がほとんど無意識に行うことのできる、しかし、計算機にとってはかなり

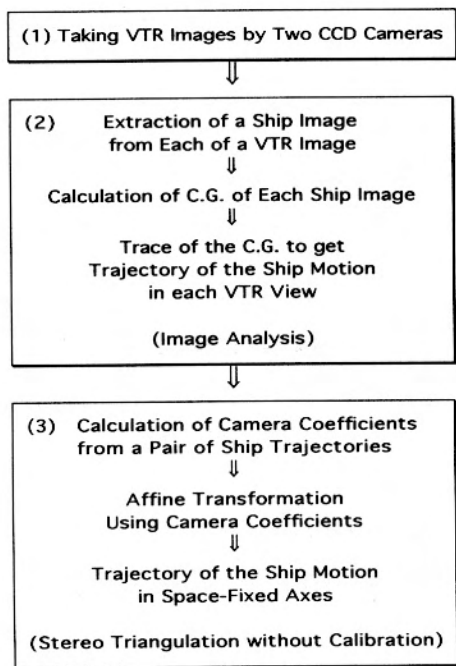


Fig. 1 Flow Chart of Model Ship Position and Motion Measurement System Using Stereo Cameras

高度の機能である。著者のひとは以前、係船機器の自動配置問題を扱ったことがある^{3,4)}が、そこで取り扱った機器どうしの干渉や広さの概念などがこれに近い。

4. 船影の抽出と船首方位の検出

4.1 実験状態の説明

画像解析の話に入る前にまず、実験状態を説明する。Fig. 2 にその平面図を示す。長さ約150m、幅約50mの大飼池が大阪大学で使用している自由航走模型船用の実験池である。その近くに高さ約30mの総合研究棟がある。模型船は棧橋からスタートし池の中を移動する。ここで問題は総合研究棟の屋上に2台のカメラを設置して模型船の動きを撮影し、その画像を解析することによって模型船の位置や船首方位を求めることである。

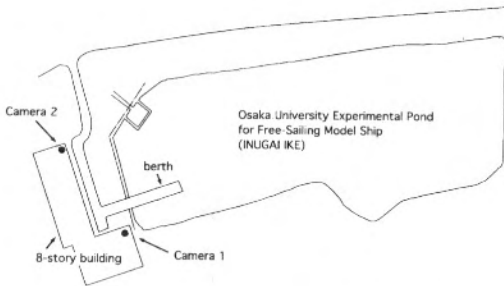


Fig. 2 Layout of Experimental Pond and Stereo Cameras

Fig. 3 はタンカー模型の、Fig. 4 は水中翼船模型のそれぞれカメラ1で撮った旋回中の1シーンであり、印刷の関係でどの程度見えるかわからないが画面ほぼ中央に反時計回りに旋回中の模型船が見える。画面右中央と画面下中央に見えるのは超音波方式で使用する受信機のポールであり、画面右下には手前の茂み、画面の奥には道路、上手などが見える。Fig. 3とFig. 4を見比べればわかるように、水面の濃淡差や反射して映る建物や木の影など、太陽光線のあたり具合や風などによりかなり変化が多いのが特徴である。

緒言でも述べたように、水中翼船模型は翼走中船底が水中から出ること、長さが1.5mで排水量が12kgfと小さく、メインモータと無線操縦用の機器とそれらの電源以外はいっさいの計測機器は搭載できず、ビデオトラッカー方式または本方式を用いざるをえない。後述するように今回は船首方位の検出はできなかったが、主に、2台のカメラによるステレオ三角測量(第二報で報告予定)による精度検証を目的に行った。一方、タンカー模型は2.5mであり、Fig. 3でもわかるように画面上での大きさも十分で、従来方式(超音波式、ビデオトラッカー方式)でも位置は計測することができる。しかし、超音波式では船首方位の検出はジャイロに頼らざるをえず、

模型船内の計測システムと超音波式計測システム(陸上でデータの収集を行う)のサンプリングの違いや同期の

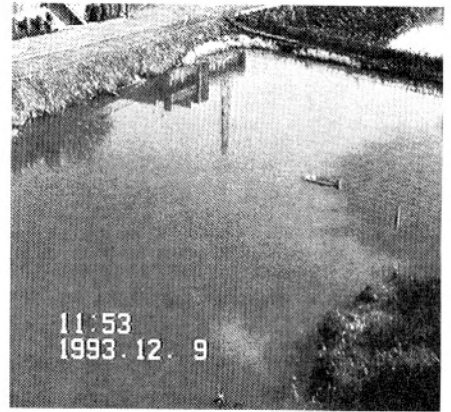
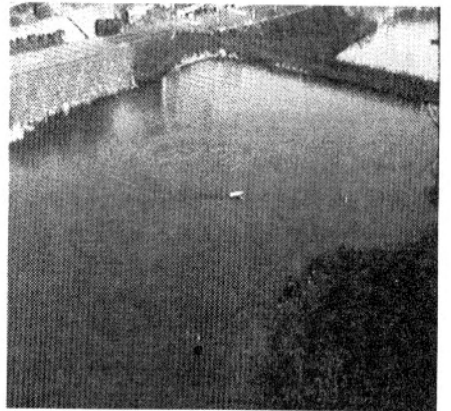
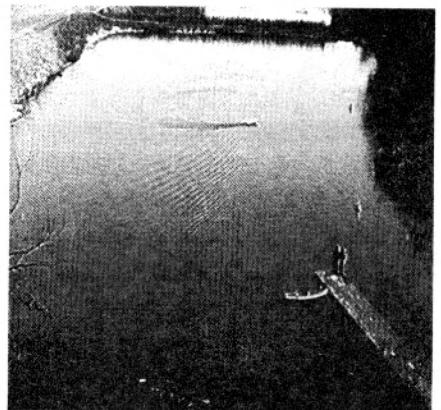


Fig. 3 A Sample View from Camera 1 (Tanker)



(a) View from Camera 1



(b) View from Camera 2

Fig. 4 A Set of Sample Views from Cameras 1 and 2 (Hydrofoil)

点で、横流れ速度の検出は精度上問題があった。また、ビデオトラッカー方式ではランプなどをデッキ上に取り付ける場合は輝度差の問題、デッキを白い紙などで覆う場合はデッキ上の装置がじゃまでFig. 3の例では船首部のデッキでしか判別できないなど問題があった。そこで、まずは、自然のままの実験状態から模型船の船影が検出できるか否か、次に船首方位の計測と速度ベクトル(航跡の接線方向)の差から横流れ速度の検出が可能か否かの検討をカメラ1台のみで行った。

4.2 画像の取り込み

本研究ではビデオ画像を1秒間隔で512×512ピクセルの配列に各点8ビット(256階調)のグレースケール画像としてコンピュータに取り込んだ。実際にはビデオのカウンターを見ながら手動で行ったのでその間隔、また2台のカメラの映像の対応も正確ではない。Figs. 3, 4はこうして取り込んだビデオ画像のハードコピーである。次の課題は自動的に同期した画像を取り込むこと、及び取り込んだ画像の圧縮などであるが、現在そのシステムの開発も検討中である。

4.3 船影の抽出とその追跡

画像解析により移動体を抽出するもっとも一般的な方法は画像差分である。ただし、連続する3枚の画像から差分と論理積を用いたり、差分の前に画像微分を行う⁵⁾、あるいは複数枚の連続画像の平均から背景画像を作成する⁶⁾などそれぞれの状況に応じた工夫がある。

また、抽出した物体(の投影画像)は回転、移動や拡大(縮小)による変形を受けているわけだが、画像認識システムなどではその変形をもとに戻すための工夫も数多く提案されている。例えば、Sunら⁷⁾は物体の投影部の可視中心(visible region center)と不可視中心(unvisible region center)という概念を用いてその変換ができることを示しており、たいへん興味深い。

ここでは、Fig. 2に示すような状況下での模型船ということから、そのいずれも使わなかった。その理由として、(1)前後の画像間で物体の画像が一部重なっていることが多い。(2)屋外での実験であるので、太陽光線による水面反射や他の物体の陰影など背景画像の輝度差と物体との輝度差があまり変わらない。(3)物体の形状が楕円状であり、凹凸がない、などがあげられる。

本研究で用いた方法を箇条書きで示す。

- (1) 最初の画像のみ、マウスで船のある領域を指定して、そこから適当な部分領域(船の移動速度、画像の取り込み速度に依存するが、ここでは101×101ピクセル)を切り出す。これは計算時間を短縮するためであり、(1')を含めビデオトラッカー方式とまったく同じである。
- (1') 2枚目以降は1枚目の画像で抽出した船(の画像)の重心を中心として101×101ピクセルの部分領域を

切り出す。この中に船影が入っている限りその追跡が可能である。もし、領域の端部に船影がかかっている((5)で求めた重心で判断)場合には、その重心を中心に再度切り出す((2)~(5)を繰り返す)修正で追跡できるが部分領域の大きさが十分であればその必要はない。

- (2) 切り出した部分領域(部分画像)から、池の輝度程度の画素を取り除くように二値化する。二値化の閾値は経験的に決めた。ただし、この段階では、船を構成している画素の中で池と同じ位の輝度の部分も消える。Fig. 5に二値化された部分画像の画素値の3次元表示を示す。なお、左下に小さく見えるのが抽出された画像(3次元表示を真上から見たもの)である。(Figs. 6~8も同じ)ビデオトラッカー方式ではこの段階で模型船上の輝度差、あるいは、色カメラを用いた色相差による判定をするが、特にFig. 3のような場合、二値化のみでは抽出が難しい。

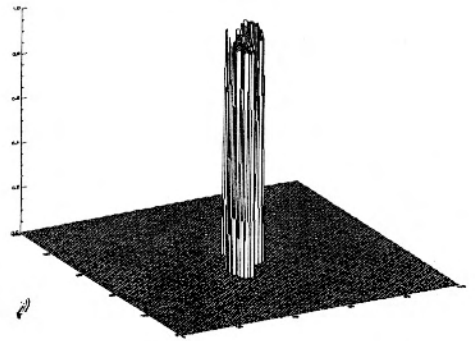


Fig. 5 Extracted Ship Image by Binary Operation(Hydrofoil)

- (3) 船の周辺は輝度差が大きいので、部分画像の微分を行い輪郭線の検出を行う。Fig. 6にその結果を示す。
- (4) (2)と(3)を組み合わせ、そのどちらかがある閾値以

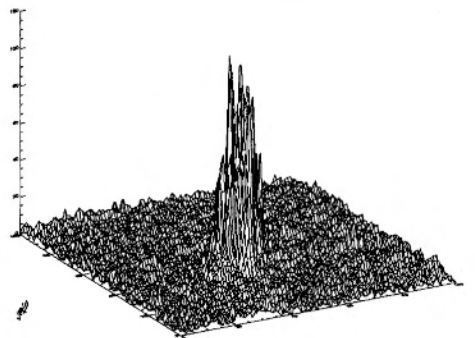


Fig. 6 Extracted Ship Image by Differential Operation(Hydrofoil)

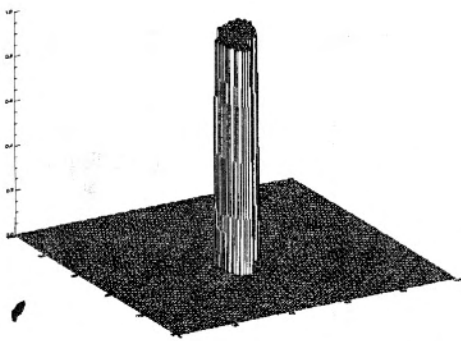


Fig. 7 Final Extraction of Ship Image(Hydrofoil)

上の画素を二値化する。さらに、雑音除去のためのスムージングを行い、Fig. 7に示すような船影の抽出を行う。

- (5) 実際には、Fig. 7で示したように船影だけが残る場合と、他の陰影などが一緒に残る場合がある。そこで、ラベリングと呼ばれる処理を行い、離れた物体の画像毎に面積と重心計算を行い、面積が最大のを船とする。そして、その位置は重心を部分画像の中心座標で補正して出力する。

Figs. 5~7は、水中翼船の例であるが、タンカー模型で同様の抽出を行った例を種々の船首方位に対してFig. 8に示す。いずれもほぼ順当な船影が抽出できていると言える。

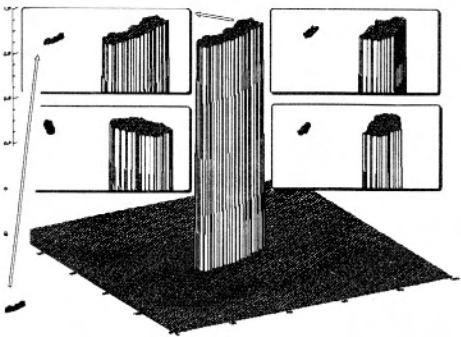
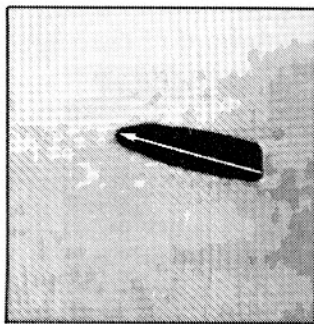


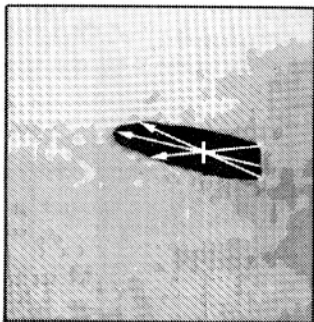
Fig. 8 Final Extraction of Ship Images(Tanker)

4.4 船首方位の検出

船首方位の検出についても、フーリエ変換や自己相関などの方法が考えられるが、船影が楕円状で、時として影などにより船首・船尾がはっきりしないケースも多い。また、Fig. 9(a)に示す例のように必ずしもそれらの方法で得られた図形の長軸方向が船首方位とは限らない。そこで、種々検討の結果、計算時間が短い点と検出された方位の可否がわかりやすい点から、次の方法を採用した(Fig. 9(b))に概念図を示す。



(a) Bad case



(b) Present method

Fig. 9 Detection of Ship Heading Angle

- (6) 最初の画像のみ、マウスで船首と船尾の方向を指示する。これは画像のみから船首と船尾の区別をすることが不可能なためであり、方位の決定は(7)によって行う。
- (6') 2枚目以降は1枚目の画像で検出した船(の画像)の船首方位を用いる。
- (7) (6)または(6')で与えられた方位を中心に適当な角度(船の運動の角速度と画像の取り込み速度に依存するが、ここでは $\pm 5^\circ$ 程度)の範囲で(5)で求めた重心を通る直線と船影との共通部分がもっとも長い角度を船首方位とする。探索は 0.1° ごとに総当たりとした。

以上の手順の概略をまとめてFig. 10に図示する。Fig. 10(f)の船首方位ベクトルを各画像に対して求めることにより、画面座標での模型船の運動軌跡(ビデオ画像上で模型船の位置を連ねたもの)が得られる。Fig. 11はタンカーの旋回試験の例であり、Fig. 3に重ねてプロットしてある。一方、Fig. 12は水中翼船の旋回試験の例であり、2台のカメラの画面座標での模型船の運動軌跡をタンカー同様にそれぞれのカメラから見た画像を重ねてプロットしてある。Figs. 11, 12をもとに、Fig. 1で示したフローチャート上の(3)を実施することにより空

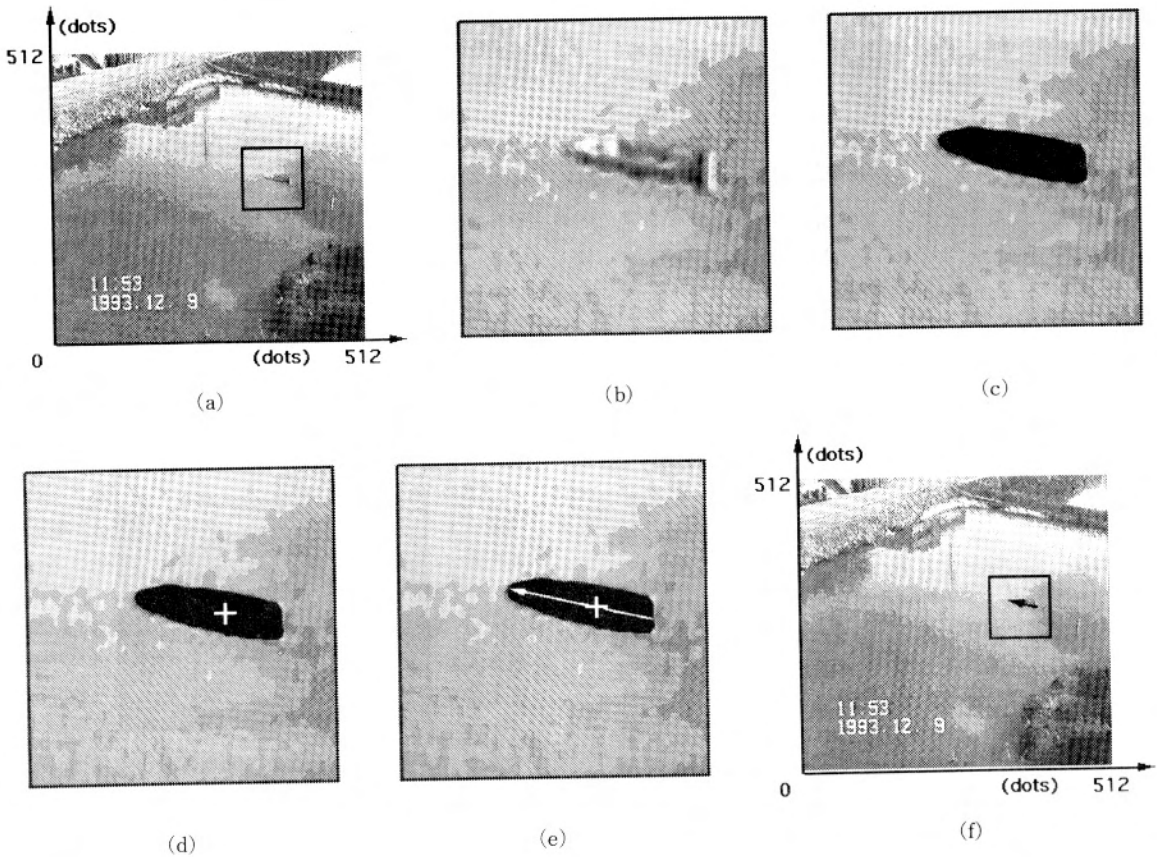


Fig. 10 Graphical Procedure of Detection of Ship Image and Heading Angle
 (a) Manual instruction of ship-included area for the first image only
 (b) Extracted sub-image including a model ship
 (c) Extraction of ship image
 (d) Calculation of centre of gravity of the ship image
 (e) Detection of heading angle
 (f) Calculation of absolute coordinates of the present position of a model ship, which will be used as initial values for the next image

間上での真の軌跡が求まる。本報の範囲でないのでその詳細や考察は次報(もしくはそれ以後)に譲るが、Fig. 10をもとに試算してみたところ、2台のカメラによる航跡がほぼ重なることを確認している。

ただし、水中翼船の場合、旋回方向によっては船影の縦横比が十分でなく精度良く船首方向を求めることができなかったこと、およびFig. 4では少し見にくい船体がトリムしているため、たとえ、船首方位が検出できたとしても正しい方位を表していないため、図中では重心位置のみ示した。

5. 結 言

自由航走模型船の位置・運動計測のための画像解析シ

ステムを提案した。その中で、本報では船影の抽出と船首方位の検出のアルゴリズムを紹介し、実験によりその有効性を確認した。

この方法がビデオトラッカー方式より優れた点は、輝点や色紙などをつけることなく、人間が判定できる程度の画像から直接解析できること、及びビデオ画像の走査線の分解能が使えること、そして、船の大きさが十分大きな場合、船首方位も求めることができることである。

逆に欠点は処理時間がかかりかかるので、リアルタイムで実験結果を見ることができない。計算機的能力によるが、本システム(HP9000モデル720+PV-WAVE使用)では1枚の画像に対して位置の計算に約10秒、船首方向まで計算すると40~50秒かかる。今後さらにアル

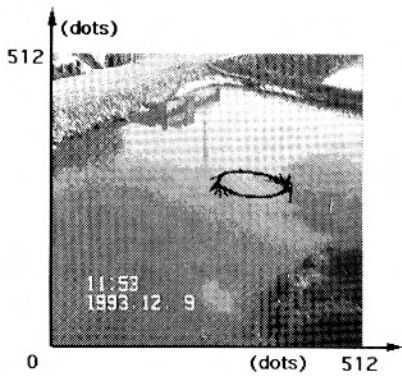
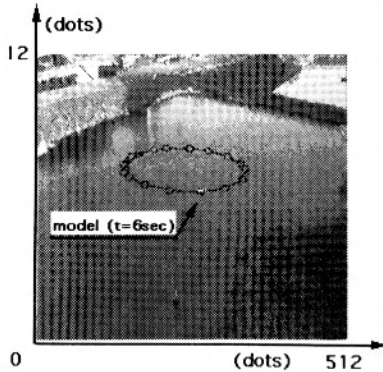
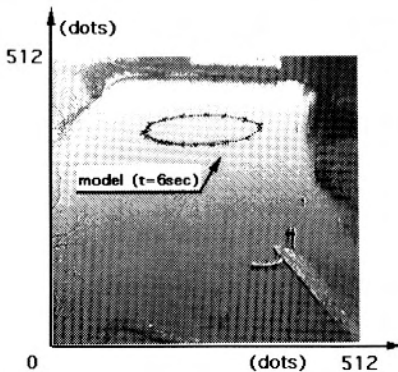


Fig. 11 Ship Trajectory in Camera View(Tanker)



(a)Trajectory from Camera 1's view



(b)Trajectory from Camera 2's view

Fig. 12 Ship Trajectory in Camera Views(Hydrofoil)

ゴリズムの改良が望まれる。

しかし、処理時間とアルゴリズムの優劣は一般に反比例の関係にあるのでトレードオフが必要である。精度を保ちつつ、あるいはさらに精度を上げながら処理時間を短縮するためには例えばDSPを用いたハードウェアに

よる処理などの工夫が望まれるが、学術的な意味はあまりなく本報では触れない。

謝 辞

本研究の一部は文部省科学研究費一般研究(C)の補助金により実施されたことを付記し、謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 長谷川和彦：波浪中の船体6自由度非接触計測システム，関西造船協会誌，第210号，pp.155-160，1988年9月。
- 2) 長谷川和彦：直接画像処理方式による自由航走模型船の位置計測法(速報)，第7回船の操縦性能推定法に関する研究(PSM)専門委員会資料，日本造船学会運動性能研究委員会，PSM7-9，1994年1月。
- 3) K. Hasegawa, M. Hattori, T. Uemura and T. Tanabe : Perception of Picture Interference and its Application to Expert System for Shipboard Equipment Layout (ESSEL), J. Kansai Soc. N. A., Japan, No.212, pp.1-9, Sep. 1989.
- 4) 長谷川和彦，服部真人：図形の干渉と場の理解の自動化に関する一考察，関西造船協会誌，第214号，pp.19-26，1990年9月。
- 5) 増田 功：時系列画像計測，システム/制御/情報，第38巻，第1号，pp.15-20，1994年1月。
- 6) 田村昭博，赤塚孝雄：複数移動体の軌跡追跡，第31回学術講演会予稿集，計測自動制御学会，pp.635-636，1992年7月。
- 7) Y. Sun and F. Qi : Shape Normalization through Visible Region Center and Unvisible Region Center, Pattern Recognition Letters Vol.14, pp.407-414, May 1993.

討 論

【討論】 (大阪府立大学) 西尾 茂

1. 画像処理によって判定しにくい画像からデータを得るように工夫をされていますが、船体にマーカなどをとりつけて、画像自身を改善することも考えられると思いますがいかがでしょうか。
2. 船首方位の認識について、座標変換によりZ方向から見た画像に変換すると認識が容易になると思いますがいかがでしょうか。

【回答】

1. 従来のビデオトラッカー方式が輝度差を利用することからマーカとしてのランプや色紙をとりつけていました。本方式でも当然マーカをとりつけることにより、改善することが期待できますが、Figs. 3, 4

に示すように模型船の大きさや回りとの明かるさの比の影響でデッキ全体を覆うくらいのマーカでないと捕捉できないのが現状です。しかも、ビデオトラッカー方式ではその抽出したマーカを含むある大きさの決まった矩形画素の重心から模型船の位置を推定するので、実際の重心との誤差がどの程度かはよくわかりませんでした。そこで、本方式を提案するわけであり、その場合、「人間が識別できる」程度の

画像からなるべく特殊な装置や細工を付加せずに、できるだけ精度よく求めることを目標にしましたのであえてマーカをとりつけませんでした。

2. 当然、真上から見れば船はほぼ水平運動をしていますので、投影面積が変わらず、水中翼船の場合も船首方位が検出できると思われれます。貴重なご意見ありがとうございました。