

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560968

研究課題名(和文)高精度ステレオビジョンを核とする次世代高度安全海上輸送システム

研究課題名(英文) Highly Safe Next-Generation Maritime Transportation System Based on a High Precise Stereo Vision

研究代表者

山本 茂広 (YAMAMOTO, Shigehiro)

神戸大学・海事科学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60294261

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：船舶が安全に航行するためにレーダ等の電子装置が使用されているが完全とはいえず、時として海難事故が起こっている。そこで、これらの既存装置と連携して航海の安全性をより高める次世代高度安全海上輸送システムの構築を目指し、その中核となるマシンビジョン技術、特に3次元ステレオ画像計測技術を駆使して船舶やその他の障害物等の位置や速度を高精度に検出するシステムについて研究し、基礎的な手法を開発することができた。

研究成果の概要(英文)：Marine accidents have been occurring because electronic devices such as radars are imperfect although they are commonly used for safe navigation of ships. In order to develop a highly safe maritime transportation system that made navigation safer in cooperation with the existing navigational devices, we studied the system that detected and precisely measured locations and velocities of ships and other obstacles using machine vision technology, especially, 3D image measurement technology. As a result, basic methods for the system were developed.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：船舶 安全 海上交通システム ステレオビジョン 三次元計測 画像処理 追跡

1. 研究開始当初の背景

船舶が安全に航行するために様々な電子装置が使用されている。他船や他の障害物を発見するための最も有力な装置はレーダであるが、レーダも海面反射等の影響を受けることもあり、完全とはいえない。もちろん、船舶自動識別装置 (AIS) のように高度な装置も存在するが、AIS 搭載が義務付けられているのは大型の船舶に限られ、小型船舶や船舶以外の障害物等に対しては無力である。結局、最終的な安全確認は、航海士の目視に頼ることになるが、人間である以上、見落とし等のミスを犯すこともあり、時として海難事故につながって尊い人命・財産が失われていた。また、油流出等による海洋汚染も重大な問題であった。

2. 研究の目的

本研究は、船舶を安全に航行させるための次世代高度安全海上輸送システムの構築を目指し、その中核となるマシンビジョン技術、特に、3次元ステレオ画像計測技術を駆使して船舶やその他の障害物等の位置や速度を高精度に検出するシステムとその応用について研究することを目的とした。

3. 研究の方法

図1に提案する高度安全海上輸送システムの概念図を示す。システムの中核はステレオ画像計測システムであり、これを大型船舶に搭載し他船や障害物を検出、その位置を計測して追跡することにより危険が予測されれば警報を発する。このとき、既存のレーダやAISとも連携させることで信頼性を高める。また、航行量の多い海峡や港湾部で陸上にカメラを設置し、航行船舶を監視することにも応用できる。このシステムの心臓部となる高精度ステレオ画像計測技術について、実際に海上ステレオ画像を取得し、以下の事柄、手法を検討した。

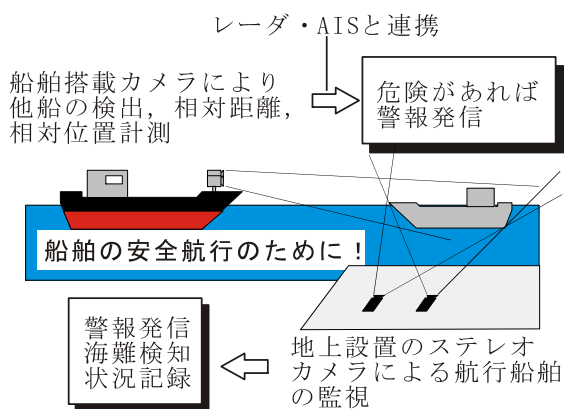


図1 高度安全海上輸送システム

(1) ステレオ画像計測による位置計測精度の検討：衝突回避等の観点から、カメラ間のベースライン距離 (数十メートル) に比べて、

かなり遠方 (数キロメートル) の船舶の位置を計測する必要があり、計測精度が問題となる。また、船舶に提案システムを搭載する場合、波浪等による船体の動揺が問題になることが予想される。その対策も検討した。

(2) 海上画像からの船舶・障害物の検出手法：海上を撮影した画像から、船舶や障害物のみを如何に正確に検出するかが、提案システムの鍵となる。単眼カメラではなく、ステレオ画像計測を行っていることを利用した検出手法を検討した。

(3) 船舶・障害物の認識手法：検出した物体が何であるかを認識できれば、検出の正確性の向上にも役立つ。SVM (サポート・ベクタ・マシン) という一種の学習機構を用いて船舶の認識を行うことを試みた。

(4) 船舶の追跡手法の検討：船舶の速度や針路等を得るためには、単独の計測ではなく、時系列的に計測を繰り返し、船舶を追跡していく必要がある。その手法を検討した。

(5) 船舶の速度検出手法の検討：追跡した船舶に対してカルマンフィルタをかけ、航行速度を算出する手法を検討した。

4. 研究成果

研究の方法の欄で述べた事項に対して検討を行い、以下の成果を得た。

(1) ステレオ画像計測による位置計測精度の検討

ステレオ画像計測は、2台のカメラから同一の対象物を観測して、それぞれの視線方向を求め、両視線の交点として対象物の三次元位置を特定するものである。このとき、両カメラ間の距離 (ベースライン距離) に比して対象物が遠方に位置すると、両視線が極めて鋭角に交わるようになり、わずかな視線特定の誤差が、大きな三次元位置計測誤差につながる。提案システムを船舶に搭載する場合がこの状況に当てはまる。すなわち、ベースライン距離は船幅で制限され、せいぜい数十メートルが限界であるのに対して、衝突防止の観点からは数キロメートル先の船舶等を検出できなければならない。

より高い精度で三次元位置計測を行うため、まず両画像間の対象物の対応点マッチングについてサブピクセル精度でのマッチングを導入した。ついで、時系列画像上で得られた対象物の視差データに対してローパスフィルタをかけることによりかなりの誤差を低減できることが分かった。

また、提案システムを船舶に搭載する場合には、波浪等による船体の動揺が問題になる。この問題には、船体の大きな揺れに伴い船体に固定されるカメラシステム自体の方向が定まらないことと、微小であっても個々のカメラがぶれることにより、対象物を計測するための視線に誤差が生じることの2つが含まれる。前者に対しては、水平線を検出することによりカメラシステム自体のロール角とピッチ角を求める手法を検討した。後者に

対しては、船体の中であらかじめ特定の点を複数（少なくとも6点以上）計測しておき、それらの点を常時観測することで、両カメラの向きを正確に知り、視線方向の誤差を補正する手法を提案し、検証した。

(2) 海上画像からの船舶・障害物の検出手法
海上の画像上から船舶や障害物を検出する手法として、以下のようなステレオ画像を用いている点を利用した手法を考案した。

(ステップ1) 左画像において、対象領域を横方向に走査していき輝度値が大きく変化する点を検出する。

(ステップ2) ステップ2で検出した点の近傍の領域について、右画像中から相関の高い領域を探す。このとき、左右の画像間で高い相関が得られない場合は、その元の検出された点をこれ以後無視し、ステップ1に戻る。

(ステップ3) 検出された左右の画像の対応点からその点の三次元位置を求める。この位置が対象とする海域外になるような場合は、その点を無視する。以上の操作により残った点が船舶あるいは海上の構造物であると推定できる。

以上のように、ステレオ画像、すわなち、対象物を写した画像を同時に2枚（以上）用いることで、単眼視における検出よりも検出確度を上げることができたと考えられるが、まだ誤検出もあった。そこで、以下に示す手法も検討した。

(3) 船舶・障害物の認識手法

(2)で述べた手法にサポートベクタマシン(SVM)と呼ばれる学習機構を取り入れ、検出したものが何であるのかを認識することにより検出精度を上げることが提案した。

まず、事前作業として、船舶や障害物等の検出対象になる物体と単なる海面の何もない部分の学習をさせる。学習用データとしては16×16画素の領域の画像のグレースケールをそのまま256次元のベクトルにして使用した。対象物の画像として150枚、海面の画像として250枚を用意し、Radial Basis FunctionカーネルのSVMで2値分類問題として学習させた。

次に、船舶や障害物等は、さらに大型と小型に分類できるように同様に学習させておいた。なお、大型と小型は画像上での見かけ上の大きさでの判断であり、前述のように16×16画素の領域に入りきらない物体を大型、入りきる大きさの物体を小型としている。

以上の学習結果を、(2)で述べた検出結果に対して適用し、何らかの物体があると検出されたとしても学習結果から「海面」と判断されればこれを無視する。これにより、誤検出を減少させることができた。

さらに、検出された点について、大型と小型に分類した上で、種別ごとに、画像上の位置の近い点、かつ、ステレオ画像間の視差の近い点をクラスタリングして1つにまとめる。このとき、大型と認識されているにも関わらず、1つのクラスタに含まれる点の数が

少ないものは、誤検出として検出結果にフィードバックできる。

(4) 船舶の追跡手法の検討

(3)で述べたクラスタ化した検出点を、今度は時系列上で追跡していく。このように安定して検出され続けるクラスタのみを最終的に船舶または障害物であると認定する。

図2に船舶等の検出例を示す。元の画像は1920×1080画素であるが、そのまま掲載すると小さくなりすぎるので一部を抜きだし、それをまた三段に分けて掲載している。図中の色の付いた点が検出されたクラスタで、赤と青が小型、シアンとマゼンタが大型と認識されているものである。



図2 船舶等の検出例

また、図3にはある船舶の追跡結果を示す。Xは画像の右手方向、Zは奥行き方向である。船舶は画像の左から右へ、すなわち、Xの正の方向へと進行しており、黒丸がその軌跡を表している。なお、赤線は(5)で述べるKalmanフィルタによる推定結果である。

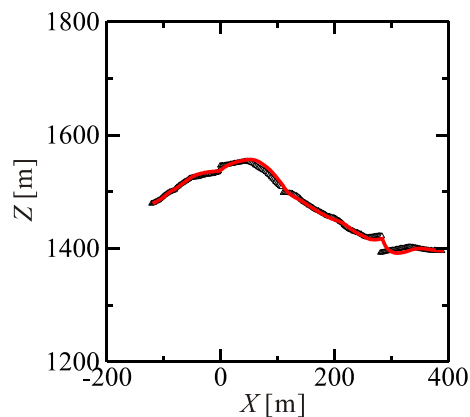


図3 船舶の追跡例

(5) 船舶の速度検出手法の検討

(4)までで述べた手法で、海上画像から船舶を検出して追跡し、三次元位置を連続して求めることができるようになった。最後に、その三次元位置の時系列データに対してKalmanフィルタを適用することで、位置計測誤差の削減とともに、船速を推定することを検討した。

船舶が区分的には等速直線運動をしていると仮定して、状態方程式を

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} X \\ Z \\ v_x \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Z \\ v_x \\ v_z \end{bmatrix}$$

とおく。ただし、 X, Z は船舶の座標、 v_x, v_z は、それぞれ、 X および Z 方向の速度である。この状態方程式を基に一種の状態推定器である Kalman フィルタを用いて状態変数を推定することにより、位置 X, Z の推定結果とともに船舶の速度 v_x, v_z も得られる。図 3 の赤線がこのように得られた位置の推定結果であり、図 4 には速度の推定結果の例を示す。

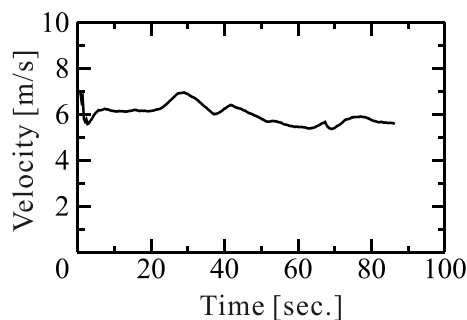


図 4 船舶の速度推定結果

以上のように、本研究によって、海上を航行する船舶等を、ステレオカメラシステムにより検出、位置計測、追跡し、さらに、その速度を推定する基礎手法を提案することができた。ただし、提案するシステムを実用化するためには、様々な条件下での検証がまだもう少し必要であり、本研究成果をベースとして種々の改良が必要になるとと思われる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Gazi Kocak, Shigehiro Yamamoto and Takeshi Hashimoto, Detection and tracking of ships using a stereo vision system, Scientific Research and Essays, 査読有, Vol. 8, No. 7, 2013, pp. 288-303 DOI: 10.5897/SRE12.318
- ② Gazi Kocak, Shigehiro Yamamoto and Takeshi Hashimoto, Analyzing influence of ship movements on stereo camera system set-up on board ship, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 査読有, Vol. 47, No. 6, 2012, pp. 888-895
- ③ Gazi Kocak, Shigehiro Yamamoto and Takeshi Hashimoto, Analyzing the influence of vibration to a stereo

camera system set-up on board ship, Proc. of 9th International Symposium on Marine Engineering, 査読有, 2011, B8-2

[学会発表] (計 7 件)

- ① 山本 茂広, 橋本 岳, ステレオビジョンによる海上航行船舶の速度計測の試み, 平成 26 年電気学会全国大会, 2014 年 3 月 20 日, 愛媛大学
- ② 琴川 成章, 山本 茂広, 橋本 岳, ステレオ画像を利用した海上画像上の船舶の追跡に関する基礎検討, 平成 25 年電気関係学会関西連合大会, 2013 年 11 月 17 日, 大阪電気通信大学
- ③ 山本 茂広, 橋本 岳, ステレオ画像を利用した海上画像上の船舶の検出・識別・追跡に関する基礎検討, 平成 25 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2013 年 9 月 5 日, 北見工業大学
- ④ 山本 茂広, コチャック ガジ, 橋本 岳, ステレオ画像を利用した海上画像上の船舶の検出・識別に関する基礎検討, 平成 25 年電気学会全国大会, 2013 年 3 月 22 日, 名古屋大学
- ⑤ 永松 孝規, 山本 茂広, コチャック ガジ, 橋本 岳, 船上ステレオビジョンシステムの動的環境下への適応に関する基礎実験, 第 82 回マリンエンジニアリング学術講演会, 2012 年 9 月 20 日, サンポートホール高松
- ⑥ 山本 茂広, コチャック ガジ, 橋本 岳, ステレオ画像を利用した海上画像上の船舶の認識に関する検討, 平成 24 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2012 年 9 月 5 日, 弘前大学
- ⑦ 永松 孝規, 成田 裕生, コチャック ガジ, 山本 茂広, 橋本 岳, 船上ステレオビジョンシステムの動的環境下への適用に関する検討, 平成 24 年電気学会全国大会, 2012 年 3 月 23 日, 広島工業大学

[その他]

ホームページ等

<http://www.ee.maritime.kobe-u.ac.jp> (準備中)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 茂広 (YAMAMOTO, Shigehiro)
神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授
研究者番号：60294261

(2) 研究分担者

橋本 岳 (HASHIMOTO Takeshi)
静岡大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：60228418