



A New Approach for Safety Navigation of Ships Using a Machine Vision System

KOCAK, GAZI

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2013-09-25

(Date of Publication)

2014-09-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第5968号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005968>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



論文内容の要旨

氏 名 Gazi Kocak専 攻 海事科学専攻

論文題目 (外国語の場合は, その和訳を併記すること。)

A New Approach for Safety Navigation of Ships Using a
Machine Vision System(マシンビジョンシステムを用いた船舶の安全航行に向け
た新しい取り組み)指導教員 山本 茂広

(注) 2, 000 字~4, 000 字でまとめること。

Almost 90% of international trade is carried out via shipping which is a significant rate. The size of sea born trade is increasing around 3% per year. The statistical data show that the ship size and number of ships are both have a trend of increase which results in the increase of risk of maritime accidents. The maritime accidents reports show that the accident type with highest frequency is collision and 54,3% of collisions are caused by "improper lookout". Safety navigation of marine vessels become more important and International Maritime Organization (IMO) constitutes new laws to increase the safety. Obtaining the environmental information has a great importance for safer navigation and prevention of collisions. Radar is the main equipment for obtaining environmental information. A more recent device for obtaining ship data is Automatic Identification System (AIS) which is working within VHF range. AIS is mandatory only for the vessels which are greater than 300GT. In case of small ships, the radar cannot distinguish the ship and the sea clutter and may cause false detection. And these vessels are not equipped with AIS. Therefore the risk of collision with such vessels is increasing. Some regional accident reports also verify that the collision of small vessels like fishing boats is forming almost 50% of all collisions. As a result, the existing navigation equipment is not sufficient for providing a collision-free navigational environment.

In this study, a stereo vision system is proposed as a support system for navigational lookout. Stereo vision is one of the most used systems to recover 3D information from 2D images. This study aims to develop the system that can detect and measure 3D locations of other ships and obstacles using two cameras equipped on a

ship. Then tracking the detected objects through image sequences enables us to estimate their velocity and course. This information can be used for warning the officers in a dangerous situation in cooperation with other navigational devices such as radar.

In Chapter 1 the background of the study is explained. The statistical data about maritime accidents are displayed and the reasons for the maritime accidents are discussed. Main results of maritime accident analysis can be summarized as collisions form a great rate of accidents, navigational lookout is the main reason for collisions and the accidents of small ships such as fishing boats form a great ratio. From these results it is figured out that a system which can improve the navigational lookout may be useful to increase the safety and decrease the number of accidents. Then the main objective of the study is explained which is using a machine vision system to realize the improvement in lookout. The system is based on a stereo camera system which carries out detection of ships and other object, calculation of 3D coordinates of detected objects and tracking them through time sequences.

Chapter 2 is explaining the basic information about using cameras for computer vision systems. The cameras are firstly calibrated which is obtaining the parameters of cameras. The stereo camera system and theory of calculation of 3D location from a stereo camera system is explained.

A feasibility study of this system was carried out before this study. It is considered as a basic study and the results and problems of that study are explained in Chapter 3 because it is as a foundation of this study. Although it showed the possibility of the

system, it also revealed that there were many problems to be solved for realizing the system. Therefore, these problems and solutions are considered in this study.

First of all, it is extremely difficult to measure 3D locations accurately because the distance to the targets is very large compared to the baseline length (the distance between the two cameras). That is, we must observe the targets at a distance of a few kilometers from a viewpoint of preventing a collision while we cannot take more than 10 to 20 meters for the baseline length since it is limited by the beam of the ship. Therefore, a slight error of line of sight from the camera to the targets causes a huge error of the measured location, especially in depth direction. In order to cope with this issue and increase the accuracy of the system, a sub-pixel matching algorithm is applied which is the topic of Chapter 4. Even more, the disparity data is refined using the tracking data of previous images as a time series data. As a result, 77% of the 3D error is eliminated for around 2km range by the application of mentioned methods.

Secondly, a detection algorithm is applied to detect the ships automatically. The main problem with detection is the specular property of the sea surface. The reflections of sun glares are perceived as objects and result in false detections. Therefore, a good smoothing filter is needed. Chapter 5 is dedicated to analyze the effect of different smoothing filters. The effects of some smoothing filters are compared on noise removal of sea images and detection. The bilateral filter which is an edge preserving filter is decided to be applied.

In Chapter 6, a clustering algorithm which clusters the detected points using pixel locations and disparity data is proposed. The detected points are clustered to decrease the number of points which represent the ship. And these clusters are tracked through

image sequences. The tracking is carried out by extension of clustering algorithm through image sequences which is called spatio-temporal clustering. The tracking data is included in the detection and clustering algorithm to improve the detection and eliminate the false detections caused by the sea surface reflections of sun glare. The (+) and (-) edges are also extracted to improve the tracking result.

One of the problems to realize the system is that the ship is in a highly dynamic environment. Chapter 7 is explaining the problems of dynamic environment and proposed methods to overcome these problems. The orientations of the cameras are not constant due to the environmental effects such as ship movement and vibration. However, the camera orientation is crucial for accurate 3D measurement. Even very small changes of camera orientations cause very large 3D error as mentioned above. A theoretical explanation for the elimination of such environmental effects is proposed. The sea-sky line and some points on rigid ship hull are used for this purpose.

In Chapter 8 some further considerations to improve detection and tracking are discussed. The effect of changing the color space to gray scale and histogram equalization are displayed. Furthermore, some stereo matching strategies are discussed and their effect on tracking is observed.

In conclusion, the proposed system may be a useful as a supportive lookout tool for detecting ships, measuring their 3D location and tracking them through image sequences to obtain the course and velocity of the ships to reduce the collisions.

氏名	Kocak Gazi		
論文 題目	A New Approach for Safety Navigation of Ships Using a Machine Vision System (マシンビジョンシステムを用いた船舶の安全航行に向けた新しい取り組み)		
審査 委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	准教授	山本 茂広
	副 査	教 授	佐俣 博章
	副 査	教 授	香西 克俊
	副 査		
	副 査		
印			
要 旨			
本論文は、ステレオカメラを用いた画像計測により海上の画像中から船舶などを検出し、さらにその位置を測ることで、船舶の安全航行に役立てようとする新しい試みについて検討したものである。船舶の航行に関しては、レーダや AIS などの他船や障害物などを検出する航海用電子機器が存在するが、それぞれ欠点もあり最終的には人間の見張りが欠かせない。ところが、実際には見張り不十分により相当数の海難事故が起こっている。そこで、人間の見張りを補助し、他の航海用機器とも連携して、航行船舶の安全性を高めようというのが、本研究の目的である。提案するシステムを実現するには、いくつかの解決すべき問題があり、本論文ではそれらに取り組んでいる。 本論文は、全9章で構成されている。第1章は序論であり、研究の背景として増え続ける海上輸送の量や、それに伴う海難事故を統計的に分析し、人間による見張りを補う新たなシステムの必要性を説いている。続く第2章で、提案手法の核となるステレオ画像計測の基礎原理を説明している。第3章では、本研究のベースとなるステレオカメラを用いて海上を航行する船舶を検出して位置を計測し、さらに検出した船舶を追跡するための基本手法について述べている。また、これら基本手法中の問題点を列挙している。以降で、これら問題点の解決法が検討されており、それらが本論文の根幹をなしている。 問題点として、第一に計測精度が挙げられる。これを第4章で検討している。ステレオビジョンシステムを船舶に搭載する場合、カメラを設置する間隔（ベースライン距離）は船舶の大きさ（特に船幅）によって制限され、せいぜい10~20mである。これに対して、衝突防止の観点からは数キロメートル先の物体を検出し、位置を計測したい。したがって、ベースライン距離の100倍以上の距離の計測を行うこととなり、この場合、わずかな視線方向の誤差が極めて大きな計測誤差を生む。この問題に対処するため、まず、サブピクセルという一画素以下の精度で左右の対象物の対応点を求める方法を導入した。さらに、1回の計測だけではなく、時系列データをローパスフィルタで平滑化することにより計測精度の改善を図り、誤差低減に一定の効果が得られた。 第二の問題点は、船舶など計測対象物の検出の問題である。海上の画像は、波による光の反射などが写り、ノイズの多い画像といえ、これが計測対象物のみの検出を難しくしている。第5章では、前処理段階のフィルタについて検討し、効果的にノイズを除去できるフィルタとして Bilateral フィルタ選択している。また、第6章では、時系列データについて計測結果の近いものをクラスタリングしていくことを検討している。これにより、波などの突発的に検出されたものは除外でき、最終的に船舶などの安定して検出され続けるもののみの追跡することができる。 三番目の問題点として、船舶は非常に動的な環境下にあることが挙げられる。ステレオ計測においては、前述の通り、カメラの方向が正確に分かっていることが重要であるが、海上では波などを受け船舶自体が常に大きく揺動している。さらに、エンジンの振動や波などから船体が衝撃を受けることによりカメラ自体が微小であっても振動することが考えられる。これに対して第7章では、水平線を検出することにより船舶自体の傾きを求め、船上のいくつかの基準となる点を用いることで、カメラの微小な方向変化も補正することを提案している。			

氏名	Kocak Gazi
第8章は、さらなる検討として、画像の前処理や対応点探索時のマッチング方法などにも言及している。最後に、第9章で結論を述べている。 なお、本研究に関連して有審査論文2編と国際会議のプロシーディング4編が公表されている。 ・有審査論文 (1) Gazi Kocak, Shigehiro Yamamoto, Takeshi Hashimoto: "Analyzing influence of ship movement to stereo camera system set-up on board ship", 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol.47, No.6, pp.111-118, 2012 (2) Gazi Kocak, Shigehiro Yamamoto, Takeshi Hashimoto: "Detection and tracking of ships using a stereo vision system", Journal of Scientific Research and Essays, Vol.8, No.7, pp.288-303, 2013 ・国際会議プロシーディング (フルペーパー査読) (3) Gazi Kocak and Shigehiro Yamamoto: "Accuracy improvement of 3D location measurement of ships using stereo vision", Proc. of 13th Congress of International Maritime Association of Mediterranean(IMAM 2009), Vol.3, pp.1073-1078, 2009 (4) 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 (ISME KOBE 2011), B8-2, 2011 ・国際会議プロシーディング (アブストラクト査読) (5) Gazi Kocak, Kohei Shimizu, Shigehiro Yamamoto and Takeshi Hashimoto: "Detection and tracking of ships using a stereo vision system", Proc. of Techno-Ocean 2010 (CD-ROM), 2010 (6) Gazi Kocak, Shigehiro Yamamoto: "Effect of image processing techniques on ship detection and tracking from digital cameras", Proc. of The 9th International Symposium Information on Ships (ISIS 2012), No.0022, 2012 以上の通り、本論文は、船舶を安全に航行させることを目的にステレオビジョンを用いるという新しい試みに関するものであり、それを実現するためにいくつかの課題に取り組み、重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。 よって、学位申請者 Kocak Gazi は、博士 (工学) の学位を得る資格があると認める。	