

文章编号:1001-5078(2013)01-0066-05

· 光电技术与系统 ·

# 桥梁防船撞主动预警系统设计及实验研究

任 慧<sup>1</sup>, 王 莹<sup>1,2</sup>, 肖 刚<sup>1</sup>, 闫兴非<sup>3</sup>

(1. 上海交通大学航空航天学院, 上海 200240; 2. 桂林电子科技大学, 广西 桂林 541004; 3. 上海市城市建设设计研究院, 上海 200127)

**摘要:**水运交通的发展和桥梁的增多,导致越来越多的船桥相撞事故发生。针对现有的船舶交通管理系统及被动防船撞装置在内河通航桥梁防船撞上的局限性,提出了桥梁防船撞主动预警系统方案。该系统基于红外和可见光成像探测的互补性,利用红外/可见光/激光复合探测及多源信息融合开展桥梁防船撞主动预警。设计了系统的总体方案及相应的硬、软件方案,并开展了初步的实验研究和性能分析。系统最终可以实现全天候、全天时、全自动、稳定可靠地对有撞桥趋势的船舶提前进行声光告警,有效减少船撞桥事故发生,保护桥梁和船舶的安全。

**关键词:**主动预警系统;桥梁防船撞;复合探测;多源信息融合;航迹预测;

**中图分类号:**TN29 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2013.01.014

## Active early-warning system for bridge piers against ship collision and its experiment

REN Hui<sup>1</sup>, WANG Ying<sup>1,2</sup>, XIAO Gang<sup>1</sup>, YAN Xing-fei<sup>3</sup>

(1. School of Aeronautics and Astronautics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;  
2. School of Mechanical & Electrical Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;  
3. Shanghai Urban Construction Design & Research Institute, Shanghai 200127, China)

**Abstract:** The development of waterway transportation and the increase of bridge lead to more and more ship-bridge collision accidents. In view of the limitation of vessel traffic service and the passive system in inland waterway, an active early-warning system for bridge piers against ship collision is presented. We have designed an active early-warning system for bridge piers against ship collision, which is based on information fusion after target detection with the infrared/visual camera and laser. In this paper, the overall system and the corresponding hardware & software were designed. We also carried out a experimental study and performance analysis. The system can warn the ships which will strike the bridge piers with acousto-optic means. It can work automatically under all-weather, day and night. The system can decrease ship-bridge collision and protect the bridge and ships.

**Key words:** active early-warning system; bridge piers against ship collision; compound detection; multisource information fusion; trajectory prediction

## 1 引言

水运交通的发展和桥梁的增多,导致越来越多的船桥相撞事故发生,给人民的生命财产以及环境和社会造成了极大的损害。2007年6月15日,一艘佛山籍运沙船“南桂机035”行航经325国道九江大桥时撞击九江大桥桥墩,造成325国道九江大桥

约200 m桥面坍塌,4辆汽车坠江,9人死亡,直接经

**基金项目:**国家自然科学基金(No. 60904096);上海城市建设研究院基金项目资助。

**作者简介:**任 慧(1988-),女,硕士研究生,主要研究工作是图像融合与计算机视觉。E-mail: renhui@sjtu.edu.cn

**收稿日期:**2012-06-15; **修订日期:**2012-07-02

济损失达到3亿元人民币。广东九江大桥的后续评估、修复工作持续了1年时间<sup>[1]</sup>。据不完全统计,截止到2011年底,我国主要通航河流上的桥梁已经达到470多座,仅长江上的大型桥梁达到53座,在建、待建及拟建的大桥桥梁133座(2005年10月交通部数据)。因此对这些桥梁的通航环境进行研究并采取防撞措施具有重大意义。

在我国桥梁防撞研究正处于起步阶段,越来越多的桥梁被撞事故使得该研究的必要性和紧迫性日益显现。本文提出以红外/可见光/激光复合探测为主要手段并将探测到数据进行融合的桥梁防船撞主动预警系统方案,可以满足全天候、全天时、全自动和稳定可靠的防撞预警需求,该系统区别于被动防撞系统,具有易于安装和维护、对环境影响小的特点;区别于以雷达为主要传感器的船舶交通管理系统(VTS),具有实时性、可靠性和成本低的特点。文中分析了现有的桥梁防船撞措施及其存在的局限性和主动预警系统的工作原理,进行了系统总体、硬件和软件的方案设计,并开展了初步的实验研究和性能分析。

## 2 国外现有的桥梁防撞系统分析

国内外现有的桥梁防船撞系统主要包括船舶交通管理系统和被动防撞系统。

### 2.1 船舶交通管理系统(VTS)

VTS(vessel traffic services)是利用AIS(automatic identification system)基站、雷达、CCTV(closed circuit television)、无线电话以及船载终端等通信设施监控航行在港湾和进出港口的船舶,并给这些船舶提供航行中所需的安全信息的一种系统。通过该系统可监控船舶的航路脱离与否、行进方向、速度、船舶相互交行等,以向船舶迅速地提供进出港时所需的安全航行信息,是海事部门实施水上交通秩序管理的重要手段<sup>[2]</sup>。

目前用于沿海港口及水域的VTS中的雷达采用微波波段工作,以目标前沿跟踪和目标重心跟踪两种方式工作。其缺点在于:①建立跟踪的时间太长,达一个天线扫描周期,不利于对港区机动目标快速建立稳态跟踪,因此无法适用于内河航道水域下的船舶快速定位和跟踪;②VTS用于两船检测和跟踪的空间分辨率较低,目标跟踪混迹现象较严重,因此不适应对交通密集的内河航道水域目标进行跟踪与预警。

### 2.2 被动防船撞系统

国内外现有的桥梁防船撞设施大多是基于被动式的设计,即采用不同的防撞装置防止船舶撞击力超过桥墩的承受能力,来保护桥梁的结构安全。从通航桥梁被动防撞现状看,被动防撞主要限于碰撞事故的发生概率风险评估、碰撞力确定方法、碰撞后桥梁的动力特性分析以及桥墩防撞结构设计、结构安全等方面。目前国内外采用的被动防撞系统主要有附着式防撞系统、独立式防撞系统、人工岛防撞系统三类<sup>[3]</sup>。

被动防撞主要是保护桥梁安全,没有考虑对船舶的保护。此外,被动防撞装置对水域的通航能力和通航路线有一定影响。在水位变幅较大的情况下,被动防撞装置中浮式防撞装置适应性较好,但变坡度和变截面的桥墩结构会使浮式防撞装置安装困难,原因是在水位升降过程中,内钢围与桥墩的连接及滑轨设置较难解决,从而影响船撞力的传递,使装置的防护能力不能有效发挥,同时滑轨存在养护和失效问题。

### 3 主动防船撞系统工作原理

相对于VTS系统和被动防撞系统,视频监控技术监视范围广,适用于内河航道区域目标的监视;视频传感器等设备(例如摄像头)易于安装和调试,对设施不会产生破坏,且对通航水路的影响小;利用视频可以采集到更多的参数,如目标颜色、形状、大小等<sup>[4]</sup>,所以本系统以视频监控技术为基础进行工作。

可见光视频采集系统受光照、天气等因素的影响较大,天气条件不好(阴、霾、雨、雾、雪)或者夜间情况下,系统拍摄的目标特征不明显。红外热像仪是被动接受目标自身的红外热辐射,红外线的波长较长,克服雨、雪、雾的能力较高,因此可以在完全无光时对物体成像,也可以在浓厚的烟幕、云雾中探测船舶目标<sup>[5]</sup>,然而红外热像仪所成图像没有纹理和颜色信息<sup>[6]</sup>。同时可见光传感器具有硬件成本较低,易于维护等优点,红外成像传感器具有测温度场、夜间连续观测的优点,激光可以完成运动目标测速和测距的功能。所以本系统采用红外、可见光及激光三类传感器复合探测并将探测到的信息进行融合的体制模式。

系统的原理如图1所示。当白天且天气情况良好时,基于可见光传感器采集的视频数据和激光传感器采集的距离、速度数据,利用计算机视觉和自动目标跟踪技术进行船舶的三维尺寸测量计算,同时

对船舶目标进行检测、跟踪以及航迹预测,对超宽超高和有撞桥趋势的船舶提前采用声光进行告警;在夜间或者能见度很低的情况下,将红外和可见光图像进行融合,并综合激光传感器采集的船舶目标距离和速度信息进行船舶的三维尺寸测量和过桥位置预测。这种根据可见光采集的视频信号清晰程度决定是否将采集的信息进行融合的工作机制使系统具有计算量小、可靠性高的特点。

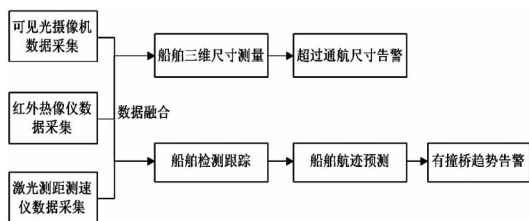


图1 系统工作原理图

Fig.1 working mechanism of the system

#### 4 主动防船舶碰撞系统设计

##### 4.1 系统的功能要求及性能指标

当传感器采集到现场数据后,利用系统软件模块进行相应的数据分析,对航行异常和三维尺寸超限的船舶进行告警,告警后船舶进行航迹自校正,当自校正失败后,采取外力干预改变航迹从而解除船舶撞桥威胁。

系统的功能流程如图2所示,根据桥梁防船舶撞

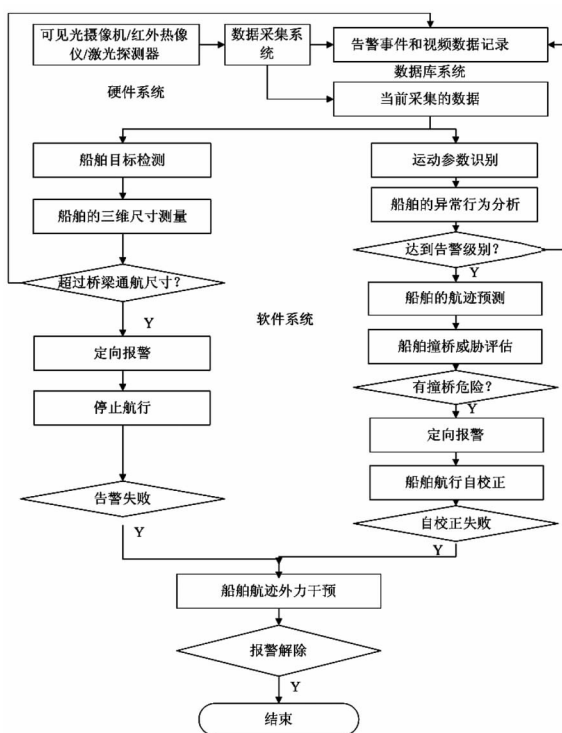


图2 系统的功能流程图

Fig.2 the functional flow diagram of the system

的应用需求,将整个内河监测区划分为三段,即检测区(距桥 1.5 ~ 1 km)、监视区(距桥 1 ~ 0.5 km)、危险区(距桥小于 0.5 km)。系统应满足如下的功能要求:①对通航桥梁上下游的船舶进行 24 h 监测;②对超高超宽的船舶进行告警;③对有撞桥趋势的船舶提前进行告警;④对违规事件和相应的视频数据进行记录,便于事后进行事故评估和责任认定;⑤当告警船舶航迹自校正失败后,能够人工进行航迹干预,解除撞桥威胁。相应地系统性能指标:①满足全天候、全天时、全自动的桥梁防船舶撞主动预警需求,同时对船舶目标的探测距离不低于 1.5 km,报警距离不低于 0.5 km;②对进入监视区的所有船舶能进行实时跟踪;③成功告警率不低于 95% (虚警率不超过 5%);④系统满足稳定性、可靠性要求。

##### 4.2 系统的总体方案

如图3所示,系统主要由:①目标探测与告警模块;②数据处理与分析模块;③监控与人机交互模块组成。可以实现全天候、全天时、全自动或者人机交互模式下的告警,对通航桥梁下的船舶实行有效的主动监视与告警。

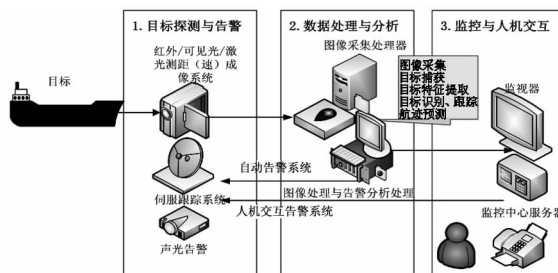


图3 系统构成示意图

Fig.3 the construction of the system

依据系统的功能和总体方案,系统设计包含有硬件和软件两大块,硬件完成数据的采集和声光告警,软件完成告警事件的检测,即船舶的三维尺寸测量和船舶撞桥趋势预测。系统的设计架构如图4所示。

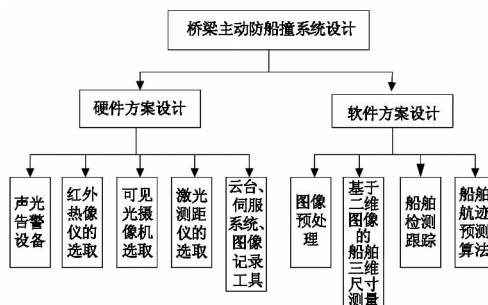


图4 系统的设计架构图

Fig.4 the design structure of the system

#### 4.2.1 硬件系统方案

根据系统的工作环境和视频采集要求,硬件系统满足如下功能:

- (1) 各传感器可同时工作,具备昼夜监控能力,并具有目标搜索定位功能;
- (2) 系统能够对航道进行 360°全方位监控。
- (3) 配备云台,单套系统在无遮挡情况下能够进行方圆 2 km 内较大范围的监控;
- (4) 具备抗强风、防雨水和防感应雷能力;
- (5) 系统可在室内对室外设备进行远距离控制;
- (6) 系统能够存储海量视频图像,具有报警功能。

#### 4.2.2 软件系统方案

软件系统采用 Microsoft Visual Studio 2008 为开发平台,调用 Intel OpenCV 图像库进行开发,同时用 SQLsever 进行数据管理,该软件系统包含七大部分模块:

- (1) 监控视频控制模块,能够实现监控现场图像的采集、显示与存储。
- (2) 预处理模块,能够获得清晰的视频源,包括视频图像去噪、增强<sup>[7]</sup>、红外和可见光图像融合<sup>[8]</sup>。
- (3) 船舶的三维尺寸测量模块,能够基于监控视频对进入监视区的船舶进行三维尺寸非接触测量。
- (4) 船舶的检测跟踪模块,该模块能够实现基于传感器所拍得的视频图像快速检测出船舶目标,并进行目标跟踪<sup>[9]</sup>。
- (5) 船舶的航迹预测模块,在船舶检测跟踪的基础上进行航迹预测,对船过桥的位置进行预测并检测出有撞桥危险的船舶进而能够触发声光告警设备。
- (6) 告警事件管理模块,该模块能够实现对告警事件进行记录,并能回调查告警事件记录数据库中的视频,从而进行事件分析。
- (7) 人机交互模块,对传感器拍摄的视频进行监视,当发现某个船舶目标航行不正常时,可以手动触发进行告警。

### 5 实验研究及性能分析

为了验证上述预警硬件方案和软件算法的可行性和有效性,本文进行了系列实验研究。首先是进行了红外和可见光视频图像的实桥航迹识别跟踪

实验。

2011 年 10 月,在上海 A4 奉浦大桥,架设了实验用红外摄像机及可见光摄像机,分别在白天和晚上的光照条件下对黄浦江上的航行船舶进行连续拍摄、船舶目标检测、航迹跟踪和识别。温度 16℃,阴天,风力 3~4 级,总帧数为 1086,帧大小为 352×288,结果如图 5 所示。

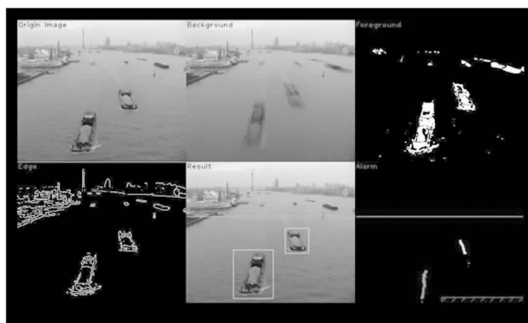


图 5 船舶目标的检测跟踪和航迹识别

Fig. 5 ship target detection and tracking and track recognit

图 5 中,从上到下,从左到右,显示了图像识别、航迹跟踪的全过程:首先提取船舶周围水体的背景像素,进行背景取出操作得到目标船只的前景像素图,然后进行轮廓识别和特征点定位,最后,连续对特征点进行观测,即可得到目标船只的数值化航迹,再通过摄像系统的坐标校准,可以连续实时地得到航道上目标船只的航迹时间序列,该时间序列是一个在航道平面坐标系上的二维( $x, y$ )时间序列,再对该时间序列进行外推可以预测到船舶的过桥位置,当有撞桥危险时触发系统的告警装置,系统可以提前采取警戒措施防止船撞桥事故的发生,保护桥梁和船舶的安全。

### 6 结束语

本文提出的基于红外、可见光、激光信息融合的桥梁防船撞主动预警系统方案,能够克服现有的桥梁防船撞措施的局限性。分析了系统工作原理和总体方案设计,并进行了相应的硬件系统和软件系统的设计,开展了初步实验研究和性能分析,验证了系统的可行性和有效性。系统最终可以实现全天候,全天时和全自动地对有撞桥趋势的船舶进行声光告警,满足稳定性和可靠性要求。伴随着光电传感器技术的发展和研制成本的降低,基于多源数据融合的桥梁防船撞主动预警技术将在桥梁防船撞领域发挥重要的作用。

### 参考文献:

- [1] Weng Weijun. The application and methods study on large

- bridge piers against ship collision[J]. Journal of Ningbo University, 2011, 24(4): 106–111. (in Chinese)
- 翁卫军. 大型桥梁防撞方法及应用研究[J]. 宁波大学学报, 2011, 24(4): 106–111.
- [2] Wei Ren, Guangzheng Li, Jing Lü. Analysis of adopting mobile position system based on GPSOne technique in VTS system[C]. IEEE International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application, 2010: 281–283.
- [3] Zhang Qian, Gen Bo. Study and design on bridge piers against ship collision system in west mountain area[J]. Highway Traffic Technology, 2010, (5): 62–65. (in Chinese)
- 张茜, 耿波. 西部山区桥梁防碰撞系统设计探讨[J]. 公路交通技术, 2010, (5): 62–65.
- [4] Yang Junhong, Zhang Qiang, Zhou Bing. Moving objects detection algorithm in video sequences[J]. Control and Automation Publication Group, 2007, 23(7): 226–227. (in Chinese)
- 杨俊红, 张强, 周兵. 视频序列中的运动目标检测[J]. 微计算机信息, 2007, 23(7): 226–227.
- [5] Li Yu, Xiao Gang. Study and design on FOD detection and surveillance system for airport runway[J]. Laser & Infrared, 2011, 41(8): 910–915. (in Chinese)
- 李煜, 肖刚. 机场跑道异物检测系统设计与研究[J]. 激光与红外, 2011, 41(8): 910–915.
- [6] Li Junshan, Yang Wei, Zhang Xiongmei. Infrared image processing, analysis and fusion[M]. Beijing: Science Press, 2009. (in Chinese)
- 李俊山, 杨威, 张雄美. 红外图像处理、分析与融合[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [7] Gonzalez. Digital image processing[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)
- 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [8] Zhang Yu, et al. Method of infrared and visible image fusion based on multifeatures[J]. Laser & Infrared, 2008, 38(12): 1262–1265. (in Chinese)
- 张宇, 等. 基于多特征的红外与可见光图像融合方法的研究[J]. 激光与红外, 2008, 38(12): 1262–1265.
- [9] Yun Xiao, Xiao Gang. Camshift ship tracking algorithm based on multi-feature adaptive fusion[J]. Opto-Electronic Engineering, 2011, 38(5): 53–62. (in Chinese)
- 云霄, 肖刚. 基于 Camshift 的多特征自适应融合船舶跟踪算法[J]. 光电工程, 2011, 38(5): 53–62.