

# 基于激光扫描的船舶超载超吃水自动监测系统<sup>①</sup>

赵永富, 葛鸣明, 刘善成

(镇江市地方海事局, 镇江 212002)

**摘要:**近年来, 内河干线航道超载、超吃水现象较为严重, 船舶搁浅、碰撞等水上交通事故时有发生. 而目前相应的治理手段单一, 尽管相关部门投入了巨大的人力、物力、财力, 但效果也并不理想. 设计并实现了一套基于激光扫描和视频分析的船舶超载超吃水自动监测系统, 并在镇江市地方海事局辖区水域实现了应用. 结果表明, 实际应用中系统在测量精度、实时性等方面表现优异, 能够满足海事部门的日常监管需求.

**关键词:** 船舶超载; 船舶超吃水; 干舷高度; 激光扫描; 视频分析

## Automatic Monitoring System for Ship Overload Based on Laser Scanning

ZHAO Yong-Fu, GE Ming-Ming, LIU Shan-Cheng

(Zhenjiang Local Maritime Safety Administration, Zhenjiang 212002, China)

**Abstract:** In recent years, overload and overdraft phenomenon is more and more serious in inland waterway, and many traffic accidents have occurred from time to time, such as stranding, collision, etc. The corresponding management approach is simple, although the relevant departments have invested huge human, material and financial resources, but the effect is not satisfactory. Based on laser scanning and video analysis, an automatic overload and draft monitoring system is designed, and it is applied in the water areas of Zhenjiang local maritime bureau. The result shows that the system performs excellently in accuracy and real-time etc. in application. And this system can meet the needs of the daily supervision of maritime department.

**Key words:** overload ship; overdraft ship; detection; freeboard; laser scanning; video analytic

## 1 引言

近几年, 受流域经济发展、船舶运营成本及船舶配载管理等因素影响, 内河船舶运输超载、超吃水现象有大幅反弹的趋势, 给水上运输安全带来了严重危害<sup>[1]</sup>. 船舶超吃水是指船舶实际吃水超过航道实际维护水深(航道每周维护尺度预报信息)和规定富余水深之和. 这些船舶犹如一颗颗随时可能发生爆炸的“水雷”, 在靠、离码头、调整航向、掉头或是与其他船舶、水上设施等相遇时, 驾驶员操作稍有不慎, 就容易发生搁浅事故, 对船员的人身和财产安全造成严重威胁<sup>[2]</sup>. 而且船舶一旦发生搁浅, 很容易就会造成航道阻塞甚至断航状况, 给航道的畅通和安全带来严重不利影响.

目前治理超载、超吃水的措施主要是靠海事人员驾驶海巡艇到违章船舶上进行现场勘查, 核对船舶干舷高度、吃水深度. 对停泊的船舶比较容易勘验, 若船

正在航行途中, 虽然有违章, 但对船舶进行拦截检查仍会带来较大的安全风险. 船舶必须要停靠下来, 海事人员再上船人工勘验<sup>[3]</sup>, 这样不仅效率低下, 而且也十分不便, 无形中大大增加了人力、物力、财力的管理成本. 而且对于夜间、雨雪冰冻等天气条件下, 单靠人工治理将变的更加困难.

## 2 研究现状

鉴于人工测量方法的诸多弊端和局限性, 国内外很多科研部口开始投入大量的精力研制新的自动吃水检测方法, 这些新型的方法有各自的技术突破, 但是也有着不可避免的弊端. 现有的船舶超载、超吃水自动检测方法主要分为三类:

一类是通过在船舶上安装特定的传感器进行检测<sup>[4,5]</sup>. 该类方法缺陷明显, 船主为了超载谋利会想方

<sup>①</sup> 收稿时间:2016-10-08;收到修改稿时间:2016-11-10 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005811]

设法的破坏或影响安装在各自船舶上的传感器的工作状态,从而使得测量的数据的准确性无法得到保障.

另一类主要依靠视频分析进行超载测量<sup>[6]</sup>,如基于 DSP 的船舶水尺检测系统<sup>[7]</sup>.这类方法仅仅依靠视频分析来进行测量,很难达到较高的测量精度,且测量结果容易收到天气状况、光照条件等因素的影响.

还有一类是基于声呐、超声波阵列等技术的水下测量方法<sup>[8,9]</sup>,该类方法覆盖范围全面,精度高,但设备在水下容易受水底砂石、水草等杂物影响,需要定期清理.

针对现有的技术缺陷,本文设计并实现了一套基于激光扫描和视频分析技术的船舶超载、超吃水自动监测系统,利用激光穿透雾、烟、灰尘的能力强,具有高测量精度、全天候、全天时的工作特点,并结合视频分析来加强测量系统的准确性.

### 3 基于激光扫描和视频分析的船舶超载超吃水自动监测系统

#### 3.1 系统适用的外部条件

本系统的检测设备适宜布设在航道的桥梁下方(见图 1),例如水面宽度为 100m,需要安装 4 个激光传感器实现全区域的覆盖,同时借助两个摄像机实现对上、下水船舶的监控及图像取证,最终实现过往船舶的干舷高度的自动测量、船舶超载、超吃水的自动预警.

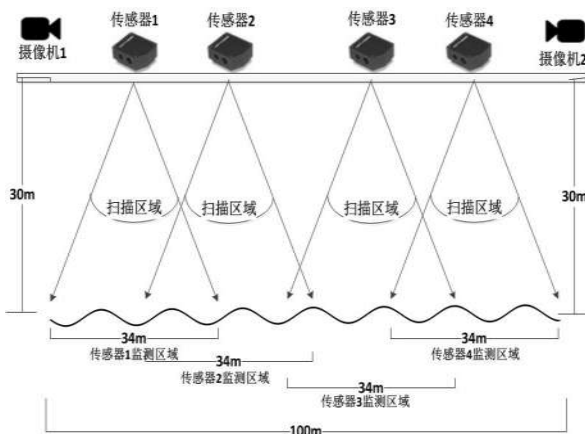


图 1 监测系统前端安装示意图

船舶干舷高度泛指船舶浮于静止水面时自水面至露天甲板上表面舷边处的垂直距离.船舶的吃水深度是指船舶的底部至船体与水面相连处的垂直距离,它

间接反应了船舶在行驶过程中所受的浮力.

系统采用机械式带高精度云台的激光雷达作为船舶吃水监测的核心设备,传感器通过船舶剖面测量,快速获取船体的剖面图像数据,继而测量出当前船舶与桥梁的距离和吃水状态,并将船舶的实际吃水深度与该船核定吃水深度进行比对,智能判断出该船是否超载、超吃水.若发现船舶发生超载或超吃水行为,系统将自动将采集到的数据和图像信息保存到中心数据库,并联合警示系统做出相应的报警处理.

#### 3.2 系统设计

系统主要由两个部分组成:前端数据采集系统和后台分析、查询服务系统.整体部署图如图 2 所示.

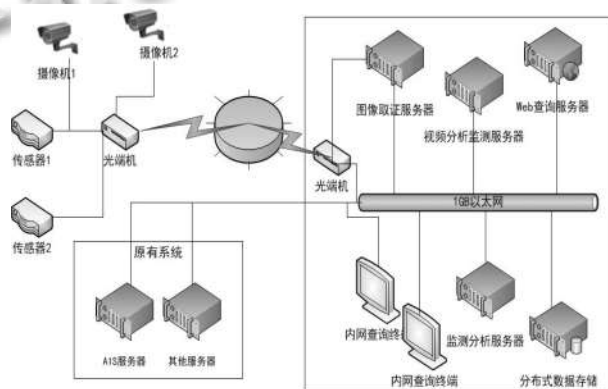


图 2 系统整体部署图

前端采集系统是整个系统运行的基础数据和信息来源,借助视频监控摄像头和激光传感器完成实时船舶监测数据的采集;后台分析、查询服务系统是系统核心部分,通过对前端采集到的各类数据借助相关算法计算出船舶干舷值,作出相应的船舶超载、超吃水预警.系统整体功能结构示意图如图 3 所示.

前端采集系统的主要构成包括船舶外形扫描的激光传感器、高速智能云台和高清智能追踪摄像机等主要设备安装于航道水域的监测点,它们是整个系统正常工作的信息源部分,为视频分析、干舷测量、数据分析提供元数据.通过在电子航道图中预设监控线,并将监控摄像头对准监控线区域.一旦发现有船舶进入该监控线监控区域时,配合采集到的船舶 AIS 信号,实时获取当前船舶的静、动态数据,包括船名、船舶型号、经纬度坐标、航向、航速等信息,以确定该船舶是否驶入监控区域,然后向监测系统各设备发出船舶进入监控指令.针对 AIS 设备关闭的船舶,我们利

用视频监控及激光传感器获取船舶的图像数据和航速、航向等信息,同时向系统发出船舶进入监测区域的指令.指令发出后,开启激光扫描程序.为了减少摄像机所用数量,简化传输、控制和显示系统,我们在摄像机上加装了智能的、可遥控的、可变焦距镜头,使其能观察的图像分辨率更高,捕捉图像的速度更快.同时借助控制器,可以实现摄像机的横向、纵向的旋转,达到覆盖角度、面积更大的目的.

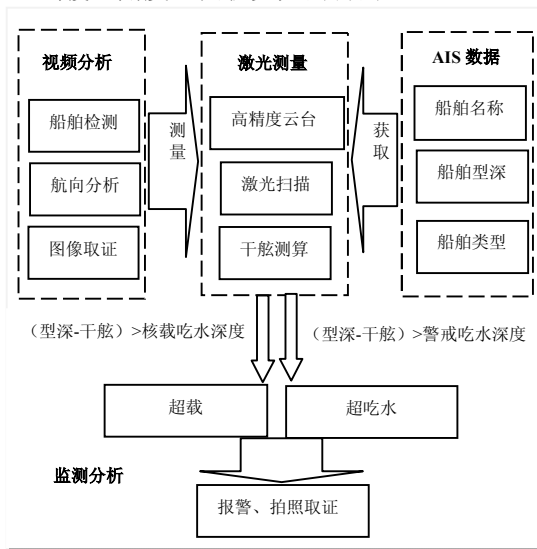


图3 系统功能示意图

为了保证系统从监测现场航道水域采集回传信息,摄像机回传现场实时图像,激光传感器采集目标船舶的测量元数据等信息交互通道顺畅,确保各类数据快速有效、安全稳定的传输至后台分析、查询服务系统,我们采用了高强度耐候性光纤.

后台分析、查询服务系统是整个系统的指挥中心,主要由数据监测控制报警系统组成.主要功能包括:测量数据与图像信号分配与放大、数据的校正与补偿、信号切换等;对带高精度云台的激光传感器、摄像机、电动变焦镜头等设备的控制;对系统防区的布防和撤防等功能.系统实现了按需控制传感器设备,获取视频信号、传感器数据,运用算法分析视频、处理传感器数据,计算输出干舷值,存储关联的系统和业务数据,提供授权的查询服务,并可与警示系统对接,实现实时有效提醒,成为辅助工作人员日常执法工作利器.

### 3.3 工作流程

1) 根据实际需求,架设前端采集设备,设置电子航道图中对应的监控线位置.利用视频监控实时地分

析监控现场范围内的移动目标,排除、过滤各种干扰因素,如飞鸟、风浪、水面反光等无效目标,正确地识别出有效目标——经过船舶,断定其航向.当目标船舶穿过预置的监控线时,触发激光测量模块进入工作状态,同时对经过船舶拍照取证,存储图像文件.

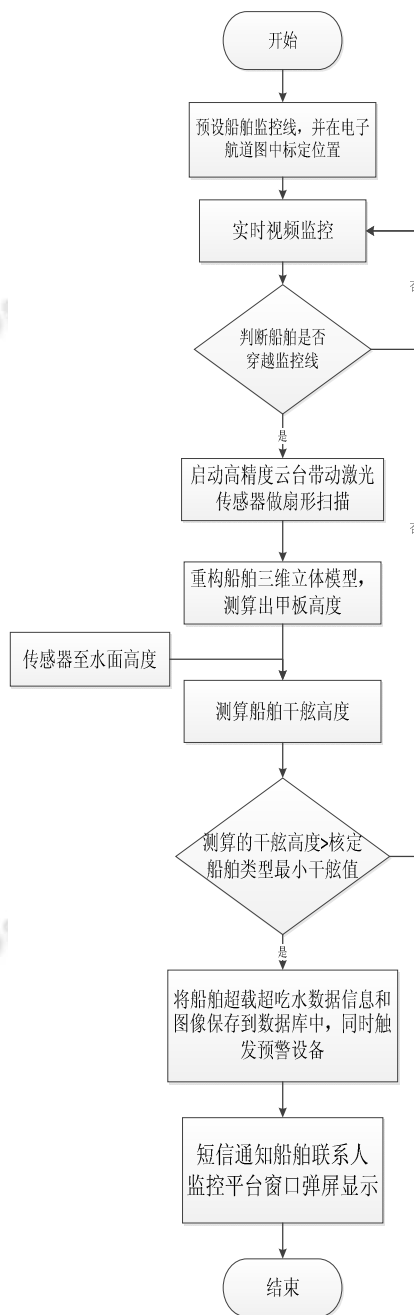


图4 自动监测系统工作流程图

2) 收到来自视频分析模块的触发请求后,立即启动高精度云台带动激光传感器做扇形测量扫描,经过上百个周期后,读取返回的大量元数据,据此重构出船

船的三维立体模型,应用计算模型去掉船头、船尾部分,在保留船身部分找出一条船舷拟合的直线,再使用几何代数方法取得船身最低点,结合传感器至水面高度,测算输出船舶干舷高度.具体计算过程如图 5 所示.

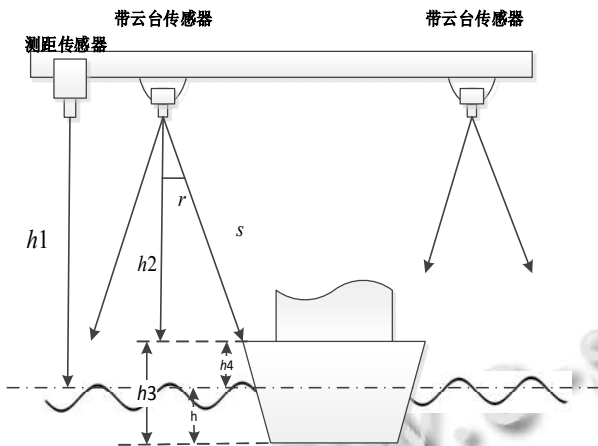


图 5 船舶干舷测量方案

测距传感器接收到“船舶进入”的监控指令后,测出桥梁到水面的高度  $h_1$ ,带云台的传感器以角度  $r$  向下扫描监测船舶,得出其与甲板之间的直线距离  $s$ ,再结合 AIS 信号接收器提取出的船型深度  $h_3$ (未开 AIS 设备船舶,选用视频监控图像分析出的船舶甲板高度),后台控制部分即可计算出:桥梁到船舶甲板的高度  $h_2 = s \times \cos r$ ,船身干舷高度  $h_4 = h_1 - h_2 = h_1 - s \times \cos r$ ,则得到船舶实际吃水深度:

$$h = h_3 - h_4 = h_3 - (h_1 - s \times \cos r)$$

3) 结合从 AIS 获取的船舶基本信息,船舶实际吃水深度与船舶核载吃水深度、航道警戒吃水深度等数据,判定船舶是否超载或超吃水.若比较得出船舶实际吃水深度  $h$  大于该船舶核定吃水深度,则向船舶监测部分发送数据控制信息,将船舶超载超吃水数据信息和图像信息保存到数据库中同时触发警示设备对该违规船舶发出警示信息;若船舶实际吃水深度  $h$  小于该船舶核定吃水深度则整个系统进入待机监测状态,等待下一个船舶的驶入.

## 4 案例研究

### 4.1 示范应用概况

船舶超载超吃水自动监测系统于 2015 年 9 月份在镇江市地方海事局辖区金港大桥安装测试,并在 2015 年 11 月中旬正式调试运行.系统实际安装情况如图 6 所示.



图 6 设备实际安装情况

其中涉及的硬件配置如表 1 所示.

表 1 系统硬件设备说明

序号	设备名称	数量	说明
1	AIS 基站	1	用于接收附近船舶发出的 AIS 信号
2	监控摄像头	2	分布桥两侧,分别监控上、下游是否有船舶驶入测量区域
3	带高精度云台的激光传感器	6	分布在大桥两侧,分别负责对上、下游船舶实施测量扫描
4	电动变焦镜头	2	安装在桥底,负责对上、下游船舶的自动变焦拍照取证

该套检测系统的整体花费要比传统的 DSP 水尺检测系统要高但检测精度也更高,与基于声呐、超声波阵列等技术的检测系统相当,但是相较于需要水下安装检测设备的检测技术,该套系统的日常的巡检、清理、维护工作更加方便,成本更小.

序号	时间	船舶数据		监管控制		船舶数据		船舶数据		详细状态	
		船名	核定干舷 (cm)	船高 (cm)	允许最小干舷 (cm)	实际干舷 (cm)	干舷差值 (cm)	超载	实际吃水 (cm)		超吃水
63308	2016-06-05 15:59:47	皖来安港1668	40	270	20	32.16	-7.84	是	237.84	否	具体状态
63306	2016-06-05 15:58:46	船名未知	0	0	20	19.81	-0.19	是			具体状态
63304	2016-06-05 15:57:21	泰盛1	45	265	20	30.39	-34.61	是	234.61	否	具体状态
63303	2016-06-05 15:52:41	鲁齐中港5002	30	330	20	26.38	-3.62	是	303.62	是	具体状态
63302	2016-06-05 15:51:43	船名未知	0	0	20	22.91	2.91	否			具体状态
63301	2016-06-05 15:48:01	船名未知	0	0	20	245.20	225.2	否			具体状态
63296	2016-06-05 15:36:49	船名未知	0	0	20	246.56	226.56	否			具体状态
63294	2016-06-05 15:34:03	西德隆11296	0	310	20	23.73	3.73	否	286.27	是	具体状态
63293	2016-06-05 15:30:47	苏福中港1799	0	305	20	48.47	28.47	否	256.53	否	具体状态
63292	2016-06-05 15:29:02	船名未知	0	0	20	30.79	10.79	否			具体状态

图 7 自动监测系统结果显示页面

系统显示自动监测结果列表界面如图 7 所示.我们选取了同一艘重点监控船舶,不同日期不同时间的监测结果,如图 8 和图 9 所示,显示不论是在白天还是

夜间对船舶干舷高度和图像取证都有较好的监测效果。



图8 船舶监测结果示例1



图9 船舶监测结果示例2

我们选取了2015年12月1日~2016年6月1日6个月内监测系统产生的数据,并进行了分析,共检测下水船舶60346批次,有效记录50012条,涉及船舶2892艘,检测出超载、超吃水船舶198艘,占整个船舶检测数量的6.85%,船舶超载超吃水监测系统的精确度、可靠性都有较好的保障。

4.2 应用效果

系统在实际应用中效果显著,在测量精度、实时性等方面有比较好的表现。我们随机选取了20艘船的某次下水航行过程中经过系统时测得的干舷高度,并与实际登船测得的干舷值进行了比对。

表2 船舶干舷测量结果示例

序号	船名	实测干舷(cm)	系统测得干舷(cm)
1	豫商货 0598	40	39.77
2	四航 1818	40	40.63
3	苏淮货	30	29.16
4	皖来安货 1199	20	19.27
5	豫信货 11859	64	64.41
6	东润 688	37	34.91
7	鸿达 9168	36	34.34
8	创源机 8068	25	25.28
9	苏淮三航货	45	45.41
10	钢港 528	50	50.55
11	长虹机 865	26	26.25

12	镇江港湾 0108	34	32.67
13	苏淮 0038	65	66.46
14	皖来安货 1668	8	7.49
15	金海货 6188	27	28.13
16	江通海 219	41	42.36
17	鲁济宁货 6001	27	28.04
18	弘泰航运 13	25	25.8
19	鲁枣庄货 2666	50	47.2

通过表2,我们可以看出,系统的测量精度大部分情况下可以控制2cm之内,最差不会超过3cm。由于船舶受大风和波浪的影响,船舶甲板和水平面之间的高度是随时发生变化的,因此在实际应用中,船舶的测量值和真实值之间的误差允许在2cm范围内。因此根据该准则,这一批次的船舶干舷测量准确度在95%以上。

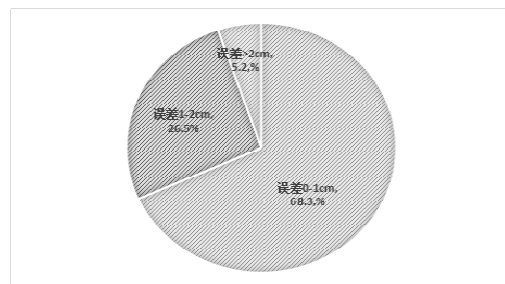


图10 干舷测量结果分布

图10是从2015年12月份到2016年6月份的实际船舶干舷值测量的误差结果。从图中可以看出测量误差小于1cm的船舶占全部船舶的68.3%;测量误差在1cm到2cm的船舶占全部船舶的26.5%;最后测量误差大于2cm(即测量不准确情况)的船舶占全部船舶的5.2%。

其中,在天气比较恶劣,船舶易发生较为严重的横摇、纵摇以及变形等情况时,对未开启AIS的船舶,由于无法直接获取到船舶型深h3的准确数据,单单依靠视频分析可能会产生一定的误差(1-3cm),进而影响整个船舶吃水深度测量的准确性,我们一方面优化系统计算模型自动过滤明显错误的的数据,另外一方面在发现船舶超载超吃水时,系统自动发出警报提醒值班人员,采用人工确认、修正等方式提高系统的准确率。

目前,本系统已经连续运行近一年时间,平均每天检测下水船舶87余艘,平均检测一艘船舶需要97秒,平均检测误差为0.23cm,每天的误报率小于1%,满足用户对检测系统的要求,且系统运行稳定可靠。

## 5 结语

针对内河干线航道近些年来“超载”“超吃水”泛滥这一问题,本系统实现自动检测船舶吃水、干舷,判断船舶是否超限、超载,并拍照取证功能。该系统可以布设在航道的桥梁下方,实际应用中具有测量精度高、实时性好、监测速度快等优点,可有效遏制船舶超载、超吃水现象,保护航道资源及通航安全,对船舶干舷高度测量、实时超载超吃水监测等方面的研究和应用有着重要的参考意义。

### 参考文献

- 1 毕方全,梁山.船舶超吃水航行动态检测方法研究.中国水运,2011,11(7):1-3.
- 2 罗宁.内河船舶吃水自动检测装置研究及应用前景.中国水运,2012,12(2):86-88.
- 3 朱四印.船舶动态吃水实时检测与数据处理关键技术的而研巧[硕士学位论文].大连:大连海事大学,2011.
- 4 Ran X, Peng JH. Ship Draft Mark Recognition based on image processing . Journal of Shanghai Maritime University, 2012, 33(2): 5-9.
- 5 管利广,祁亮,徐小雯.内河船舶吃水及装载状态监测系统研究与设计.中国水运,2015,15(12):82-84.
- 6 Ran X, Shi C, Chen J, et al. Draft Line Detection based on image processing for ship draft survey. Proc. of the 2011 2nd International Congress on Computer Applications and Computational Science. German. Springer. 2012. 39-44.
- 7 顾婷婷.船舶吃水检测系统的设计[硕士学位论文].南京:南京理工大学,2012.
- 8 Wu J, Wang X, Zhang T. Ship target detection and tracking in cluttered infrared imagery. Optical Engineering, 2011, 50(5): 5-12.
- 9 陈德山,朱剑华,李吉祥,陈先桥.基于多波束仰扫的内河船舶吃水检测技术.水运工程,2016,(1):152-157.