

· 信息技术 ·



跨海大桥桥区航道智能助航系统研发^{*}

陈明忠

(交通运输部东海航海保障中心福州航标处, 福建 福州 350005)

摘要: 跨海大桥桥区航道是典型的船舶航行受限水域, 船桥碰撞安全风险大, 桥区航道智能助航技术有助于提高桥区航道安全保障水平。分析了桥区航道通航风险因素以及水文气象分布规律, 按通航规则将水域划分为预警、警戒、航道等不同区块, 构建了桥区航行的船舶动态领域风险辨识模型。研发了自主检测船舶动态并向其播发防撞预警信息的装置, 以及自动管理和运行软硬件设施的桥区航道船舶避碰智能助航系统。该系统已应用在福建省平潭海峡大桥桥区航道, 有效改善了桥区水域的航道通航安全形势。

关键词: 航海保障; 桥区; 航道; 智能助航系统

中图分类号: U 644.8

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2020)01-0107-06

DOI:10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20191227.002

Research and development of intelligent navigation aid system for waterway of sea-crossing bridge area

CHEN Ming-zhong

(Fuzhou Aid to Navigation Division Donghai Navigation Safety Administration MOT, Fuzhou 350005, China)

Abstract: The waterway of sea-crossing bridge area is a typical restricted area for ship navigation, and the collision safety risk of ship and bridge is high, so the research and development of intelligent navigation aid technology will help to improve the safety guarantee level of waterway in bridge area. Based on the analysis of navigation risk factors and hydrometeorological distribution law in the bridge area, the waters are divided into early warning, warning and waterway blocks according to navigation rules, and the dynamic domain risk identification model of ships sailing in bridge area is constructed. An intelligent navigation aid system for collision avoidance of bridge waterway ships is developed, which can automatically detect ship dynamics and broadcast anti-collision early warning information to the ship, as well as automatically manage and operate software and hardware facilities. The application of the system in Pingtan Strait Bridge waterway in Fujian Province has improved the safety situation of the bridge area waterway.

Keywords: navigation guarantee; bridge area; waterway; intelligent navigation aid system

跨海大桥桥区水域通航环境受限, 风、流压与航道走向等因素对船舶操纵构成影响。该类水域航道又是船舶交通流汇集区, 避让不慎等驾驶行为极易导致船桥碰撞或船舶碰撞事故的发生^[1], 国内外多起桥梁被撞损及船毁人亡案例表明桥区通航水域的船舶碰撞风险突出、损失重大^[2], 因

此开展桥区航道桥梁防碰撞技术研究具有重要的现实意义。目前, 桥梁防碰撞技术主要有被动式和主动式两种防撞手段, 其中被动式防撞设施建设和维护成本高, 特别是对于大型船舶的防撞效果不佳; 而主动式桥梁防撞, 通过发现并跟踪桥区水域的船舶航迹, 预测船舶碰撞风险, 并触发

收稿日期: 2019-06-08

^{*} 基金项目: 福建省自然科学基金项目(2018J01506)

作者简介: 陈明忠(1969—), 高级工程师, 从事航标管理与智能化技术应用研究。

声光告警设备^[3-4],可促使具有碰撞风险的船舶提前采取规避措施,防止陷入被动局面。本文分析桥区航道船舶航行风险,提出桥区船舶航行风险检测算法,进而设计桥区受限水域智能助航系统,实现向船舶播发助航信息和点对点的风险预警,达到自动化、智能化的主动防撞目的。

1 桥区航道通航风险检测

1.1 桥区航道船舶航行风险因素分析

船舶在航行过程中,可能遇到各种潜在的不安全因素而导致海损事故。航海保障部门的职责就是识别风险、预测风险,采取各种有效手段保证船舶安全快捷通行^[5]。

为准确识别船舶航行安全态势,预测可能的通航风险,首先需要研究船舶在桥区航道航行过程中的潜在风险因素。风险因素包括水文气象环境因素、人工操控因素、通航秩序因素、航道条件因素等。针对桥区特定对象,从水文气象、桥墩分布、桥区驾驶特征等方面分别进行分析^[6]。

1.1.1 航道水文情况

跨海大桥桥区航道水文条件受潮汐、潮流影响明显,桥区航道的潮流变化是影响船舶安全航行的重要因素。不同跨海大桥桥区航道的潮流变化规律不完全相同,但是影响船舶安全航行的因素最终可归结为实时水深和潮流速度、方向、浪高及频率。为此可改造航道附近的助航用灯浮标,在浮标身上安装水文信息采集装置,并基于AIS(automatic identification system,船舶自动识别系统)信息通道向船舶提供水文信息^[7]。

1.1.2 航道气象情况

气温、雨、风、雪、雾等是描述气象信息的主要要素,但是对船舶航行安全造成重要影响的气象因素主要有雨、风、雾,而对应的数字化特征量是降雨量、风速、风向、能见度。以福建平潭大桥航道为例,常风向为东南偏南,强风向西北偏北;年平均风速 5.3 m/s,最大风速 27 m/s,3—8 月东南风为主,频率达 25%;9—10 月以北风为主,频率 15%;12 月到次年 2 月,西北偏北

风为主,频率 18%;风力大于 6 级的年平均天数为 68.4 d。

1.1.3 航道特征及主要违章驾驶行为

引导船舶顺利通过大桥通航孔、防止船舶出现碰撞桥梁或误闯禁航孔等违反航行规则的驾驶行为,是保障船、桥安全的关键。桥区航道走向、桥墩分布、通航孔与禁航区设定及船舶交通流规律决定了桥区的驾驶规范。以福建平潭大桥为例,根据桥区水域通航规则,可按图 1 对该水域与桥区航道分区块并设定相应监测规则。

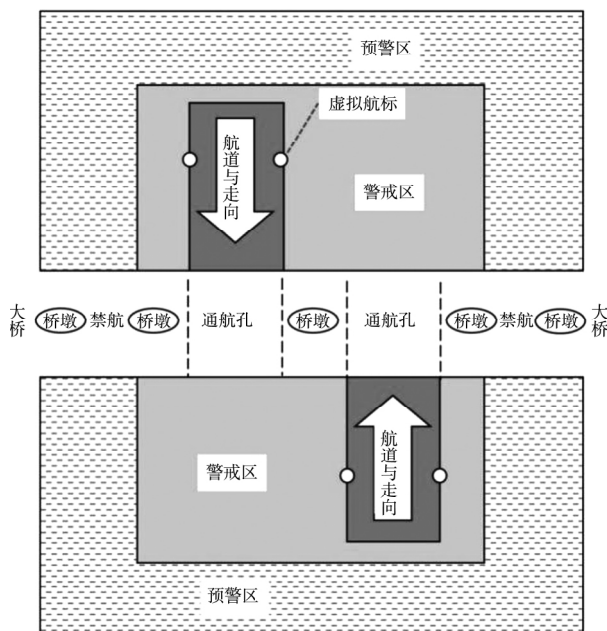


图 1 福建平潭大桥水域监测区块

该大桥规定为双孔单向通航,经数据分析,桥区水域航道主要的船舶驾驶风险因素有:超速、逆行、在警戒区内侧进或侧出航道、船头对准桥墩且离桥墩距离过近等^[8]。在船舶进入桥区航道后,应该由航道末端进入航道,过桥后,从航道前端驶出航道。进入航道后,从航道侧端驶出、从航道侧面插入航道都是不安全航行的危险因素。

1.2 桥区水域航道船舶航行风险检测方法

针对桥区水域航道风险因子,可以通过相关关键技术,构建风险模型实现桥区航道船舶航行中危险态势的自动识别和预测,在此基础上研制船舶航行助航服务系统进行主动干预,实现船桥、船舶避碰。

1.2.1 船舶进入桥区及穿越桥区航道检测方法

要防止船舶桥区航行出现碰撞险情,从船舶驾驶的角度就是要尽早纠正船舶航向,保持船舶在正确的过桥航道区域内航行,因此实时跟踪判断船位是否出现违规趋向是分析其是否存在风险的关键。大桥可通航孔与外围航道基本对接,非通航孔两侧多属禁航区及通航安全监管区,可按图 1 所示的水域划分法对其中的船舶进行 AIS 信号的筛选,船舶进入桥区水域预警区、警戒区、航道及穿越桥区航道重要边界的检测是自动辨识船舶在桥区航行中潜在风险的基础。

1) 定义 1: 基本凹形线性区域。设 P_1 、 P_2 、 P_3 为平面上 3 个点, L_1 、 L_2 为由 P_1 、 P_2 和 P_2 、 P_3 确定的两条直线,满足下列条件:

$$L_1: y - \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) - y_1 = 0 \quad (1)$$

$$L_2: y - \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}(x - x_2) - y_2 = 0 \quad (2)$$

由直线 L_1 、 L_2 围成图 2 所示的区域 S_1 , 称为基本凹形线性区域。

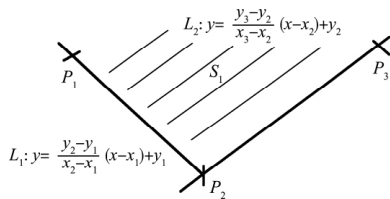


图 2 基本凹形线性区域

2) 定义 2: 凹形线性封闭区域。由多个基本凹形线性区域经平移、旋转后联合组成的封闭区域, 称为凹形线性封闭区域。典型的凹形封闭区域见图 3。

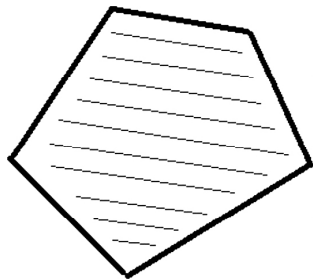


图 3 典型的凹形封闭区域

3) 原则 1。设凹形线性封闭区域 Ω 由 L_1 , L_2 , \dots , L_k 组成, 则点 $P \in \Omega$ 的充分必要条件是:

$L_1^+(P) \wedge \dots \wedge L_k^+(P)$, 其中, “ \wedge ” 表示逻辑“与”, $L_i^+(P)$ 表示 P 点代入该线性方程式 (1)、(2) 后, 方程左边值大于 0。

凹形线性封闭区域是一类具有广泛代表性的线性区域, 本文讨论的区域(预警区、警戒区、航道区)均属于由其边界线 $L_i(P)$ 构成的凹形线性封闭区域。应用原则 1 的结论, 可以判断船舶是否进入指定区域。

1.2.2 基于船舶动态领域的船桥碰撞风险识别方法

船舶在航行过程中, 可以定义一个安全领域, 在其安全领域内, 出现动态的船舶或静态的桥墩、浅滩等障碍时, 则船舶存在一定的安全风险。与一般领域的概念不同, 根据跨海大桥桥区风险因子分析, 跨海大桥桥区船舶的安全领域依赖船舶的航向、航速、风速、风向、流速、流向、能见度及船舶类型和尺寸等因素。

1) 定义 3。船舶动态安全领域: $N = \{ \|P - P_c\| \leq R \}$ 。其中, P 为可能的碰撞目标位置; P_c 为船舶实时位置; R 为船舶动态安全领域半径。 P_c 与船舶位置、航速、航向相关; R 与风速、风向、能见度、流速、流向、航速、航向、船长、船宽、船舶类型(危险品运输船安全领域半径增大)等因素相关。为简单起见, 通常取 P_c 、 R 为各因素的加权线性组合, 其权值是行业专家经验值的统计量。

2) 原则 2。若桥墩在船舶的安全领域内, 即: $P_b \in N$, 或 $\|P_b - P_c\| \leq R$, P_b 为桥墩位置, 则船舶存在撞桥风险。由船舶当前状态和航行环境值, 可通过原则 2 判别船舶是否存在船桥碰撞风险。

2 桥区航道智能助航服务系统设计

跨海大桥桥区航道船舶智能助航的整体功能实现, 由桥区现场的桥基站、虚拟 AIS 航标、桥区航标(桥涵标和水文气象浮标、灯浮标)等配套硬件设备协同完成, 当航行船进入助航水域航道, 桥区船舶综合助航信息系统即对其提供助航服务^[9], 如图 4 所示。其中, 桥基站集成 AIS 基站、信息集成处理单元、海事 VHF(very high frequency, 甚高频)电台、渔业 VHF 电台、视频监控单元、4G 通信设备(或有线专线)等。

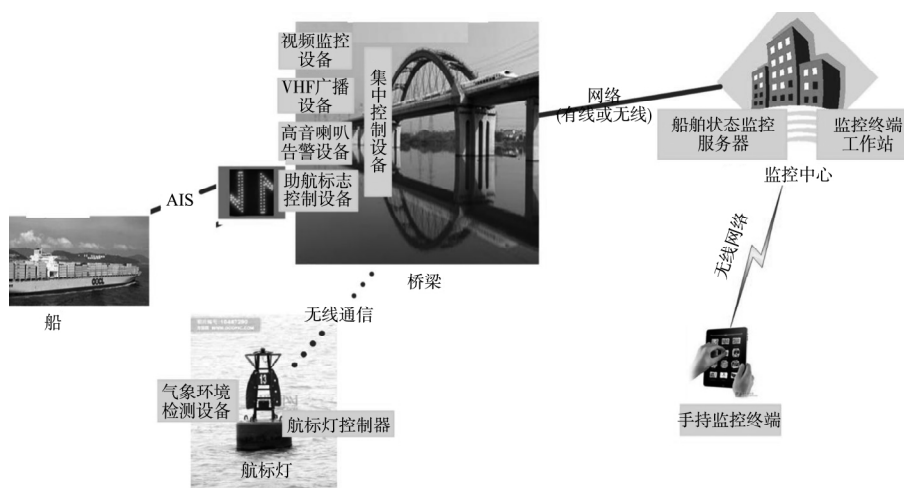


图4 桥区航道智能助航服务系统框架

2.1 桥基站设计与实现

桥基站硬件框图见图5、逻辑结构见图6。AIS模块可接收半径15 n mile范围内船舶AIS信号，发射功率2~5 W可调，报文发送距离3~10 n mile；VHF电台模组发射功率1 W和25 W可选，语音发送距离3 n mile，选择最大发射功率时可达25 n mile。从船舶接收到预警信息到及时纠正航向，对于5 000 GT以下海船而言，通常在距离碰撞点1 n mile范围内才是真正需要采取规避动作的风险区间，更远距离的助航预警信息则使船舶有充分的时间关注到避让问题。故此基站设备一般安装在桥梁通航孔附近或者沿岸构筑物上，只要保证AIS与VHF信号可覆盖桥区检测水域即可，在通航规则上桥梁非通航孔两侧水域常定义为禁航区，对于超出设备信号覆盖距离的大型桥梁而言，如需对非通航水域进行检测，可以增加桥基站数量，使其信号范围互相衔接。

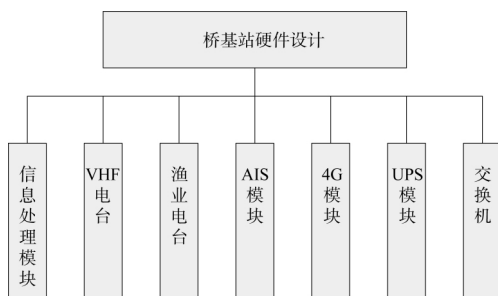


图5 硬件框图

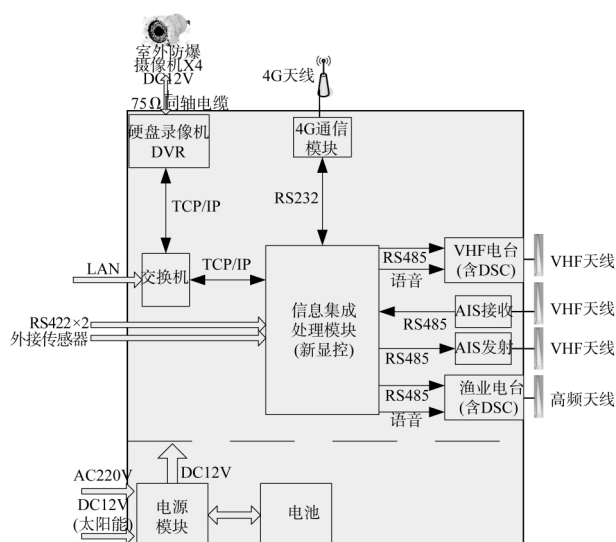


图6 逻辑结构设计

1) 信息处理模块。具体包括虚拟航标信息管理、AIS数据处理、网络连接控制、上位机控制信号处理、本地语音存储等模块。

2) VHF电台。具体包括DSC(digital selective calling terminals, 数字选择性呼叫)、语音呼叫等功能模块。

3) AIS模块。具体包括接收桥基站附近海域的AIS目标信息、虚拟航标位置定期广播、发送AIS广播等模块。

4) 4G通信模块。提供稳定的网络通信与无线连接。

5) UPS(uninterruptible power system , 不间断电源) 模块。4 组大容量电池组成, 为系统提供不间断电源。

2.2 综合助航信息系统软件开发

跨海大桥桥区航道综合助航服务系统功能总体结构见图 7。软件系统根据风险评估结果(无风险、低风险、高风险), 向桥基站发送指令, 由桥基站播发不同类型的助航信息和预警, 软件工作流程见图 8。系统软件界面情况见图 9、10。

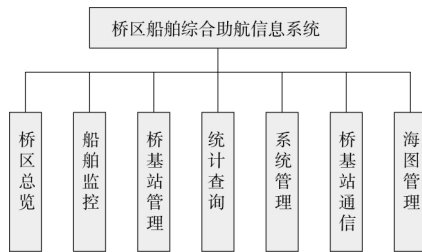


图 7 系统总体功能结构

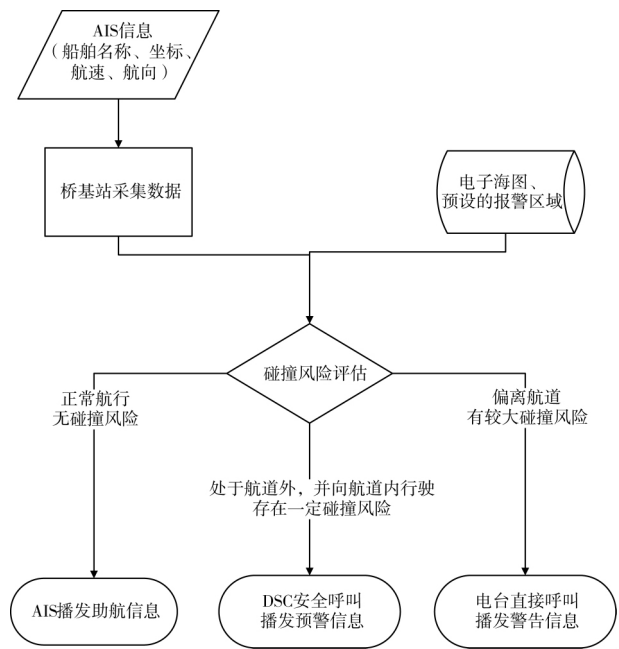


图 8 系统工作流程

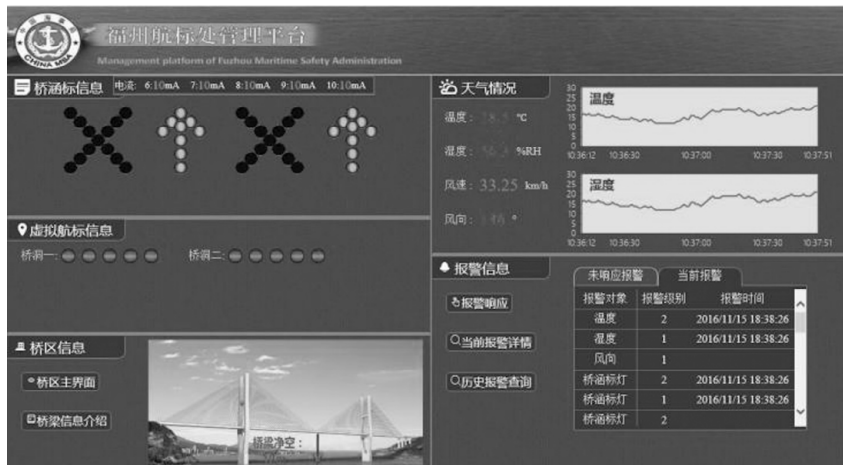


图 9 桥区总览界面



图 10 桥区与预警区域显示界面

3 系统应用

本系统应用于福建省平潭海峡大桥航道,为大桥水域的船舶提供主动避碰与综合助航信息服务。由于海事管理机构对海船配备 VHF 对讲机和 AIS 接收机有强制性规定,对于大多数海船来说无须额外安装专用设备即可接收本系统信息。系统自动监测进入预警区的船舶 AIS 动态,向船舶播发桥区实时的气象、水流、桥梁净空高度、航标动态等 AIS 报文,对符合桥区航道航行规则的船舶保持静默,对进入警戒区等违反通航规则的船舶启动点对点的 VHF 语音提示,促使其尽早纠正船舶动向,防止操纵延误引发碰撞事故的发生。系统已运行 3 年多,通过大桥水域航道的船舶主要为 5 000 GT 以下中小型货船,截取 2017 年 10 月—2018 年 2 月的计算机数据,统计显示日均经过大桥通航孔的船舶有 53 艘次,桥区水域航行耗时 9~13 min,日均播发语音预警 20 次,每船每次违规行为平均重复呼叫 2 次,日均发现高风险船舶动态 11 艘次。实船测试各项设定的预警条件,当船舶触碰预警值时,系统识别迅速,平均 3~5 s 预警信息即可传达到船舶驾驶台。根据福建省搜救中心统计数据,平潭大桥桥区航道事故险情见表 1,成果应用前后,桥区航道事故险情数量由 2013—2015 年的 35 起下降为 2016—2018 年的 13 起,下降幅度达 62.9%,明显改善了桥区水域的安全形势。

表 1 平潭大桥桥区水域事故险情

年份	事故险情数量	总数
2013	11	35
2014	11	
2015	13	
2016	5	13
2017	5	
2018	3	

4 结语

1) 对于桥区船舶航行面对的主要风险,可利用航道附近水文气象灯浮标采集信息并向船舶提

供重要的航行参考要素,设定凹形封闭线性区域可检测船舶航行趋向。辨识碰撞风险的关键技术是定义船舶动态安全领域并结合专家经验值加权。

2) 桥区航道智能助航服务系统自动整合了航信息源和管理运行检测分析软硬件设施,实现了智能感知船舶碰撞风险或船舶违规航行态势,并向船舶提前发出预警报,促使驾驶人员及时纠正驾驶行为以防控危险局面的发生。该技术可转换应用于水上水下施工区、风电场、狭水道、岛礁区等类似受限水域,帮助提升水上工程设施、船舶航行的安全保障水平。

3) 目前桥区航行的船舶态势感知主要通过 AIS 手段获取,感知精度与实时性还需要进一步提升。未来研究中可融合岸基 CCTV (closed circuit television, 闭路电视) 视频、雷达等系统数据,通过图像识别与深度学习方法,感知多种类型的船舶,使系统具有更广泛的应用价值。

参考文献:

- [1] 王海燕,刘清.水上船舶交通事故人为因素成因机理[J].中国航海,2016,39(3):41-44+72.
- [2] 赵永涛,曹方全.船舶桥梁防撞控制技术研究[J].中国水运(下半月),2015,15(9):237-239.
- [3] 任慧,王莹,肖刚,等.桥梁防船舶撞主动预警系统设计及实验研究[J].激光与红外,2013,43(1):66-70.
- [4] 陈明忠,桑凌志,陈先桥.一种桥区船舶主动防撞预警方法及系统:中国,107886775A[P].2018-04-06.
- [5] 张伟,陈洲峰.桥区水域船舶安全通航系统研究[J].交通信息与安全,2010,28(6):40-43.
- [6] 陈宏,陈峰.船舶碰撞大桥事故分析与对策[J].航海技术,2011(1):24-26.
- [7] 林竹明,万艳,陈明忠,等.一种智能航标系统:中国,201721218072.9[P].2018-04-10.
- [8] 陈伟.港珠澳大桥防船舶撞对策及关键技术研究[J].宁波大学学报(理工版),2017,30(3):72-75.
- [9] 彭国均,翁跃宗.基于实时发布 WEBGIS 技术的港口助航信息系统[J].中国航海,2007(2):25-29.

(本文编辑 武亚庆)