# 引航员登离船安全防护装置研究

李先瑞1,陈俐慧2,倪文军1,栗克国1

(1. 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300456; 2. 天津房友工程咨询有限公司, 天津 300455)

摘要:引航员登离软梯过程中,使用手动方式上下移动安全带实现引航员安全防护较为繁琐,且会出 现二次伤害风险。为此,提出一种新型登离船安全防护装置,包括姿态监控装置和攀爬防护装置。姿 态监控装置通过姿态传感器 MPU(Multi-chip Unit)-9250 获取人体姿态信息,并实现人体步数的判断; 攀爬防护装置以直流电机作为装置驱动源,配合爬绳同步轮组,设计攀爬防护装置机械结构、锁紧结 构和电控装置,实现了引航员登离船过程中装置跟随人体的自动跟随功能。实验结果表明:该装置相 对于传统手动攀爬方式具有更好的智能性、便携性、安全性。

关键词:引航员;攀爬防护;自动跟随;智能性 中图分类号:U675.2,TP181 文献标识码:A DOI:10.11759/hykx20180928002

引航员作为船舶引航的主要人员,是一种高难 度的技术性职业。在引航员引航作业过程中,登离船 产生的风险因素最为集中,也是容易发生事故的环 节之一。据统计,每年引航员登离轮事故致死率达到 十万分之五十四,与各行业平均职业工伤致死率相 比高出将近 10 倍;据国内各引航站不完全统计,引 航员落水、扭伤等事故时有发生,该原因发生的事故 风险概率在万分之一左右。因此引航员登离船过程 是一项高风险的作业,引航员工作中安全问题已经 成为引航工作中需要关注的重要问题<sup>[1]</sup>。

目前市场上自动锁紧装置采用机械原理制造而成,如图1所示,发生坠落时,自锁器连杆在冲击载 荷作用下转动,带动凸轮等机构锁紧锁夹,使两个 锁夹与置于其间间隙中的安全绳的压力、摩擦力瞬 间增大,从而实现自锁<sup>[2-3]</sup>。



图 1 自动锁紧装置机械原理

Fig. 1 Mechanical principle of the automatic locking device

文章编号: 1000-3096(2019)02-0074-08

然而,该安全防护锁紧装置在使用过程中,需 要人员在上下移动过程中需要靠手动移动锁紧器位 置,这不可避免地在使用中造成不便,特别是在引 航作业中其缺点更加明显,因此,本研究提供一种 自动跟随引航员运动的安全防护装置。该装置包括 姿态监控装置和攀爬防护装置,如图2所示,其中姿 态监控装置佩戴于人体腰间,其重量仅0.3 kg,大小 为95 mm×45 mm×10 mm,装置小巧而轻便,引航员



图 2 安全防护装置使用图 Fig. 2 Diagram of the safety protection device

收稿日期: 2018-09-28; 修回日期: 2018-11-07

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金项目 (TKS170208)

<sup>[</sup>Foundation: Special funds for basic research and business expenses of the central level public welfare research institutes, No. TKS170208]

作者简介:李先瑞(1991-),男,本科双学士,中级工程师,主要从事 电子技术与仪器研发方面的研究,E-mail:18222701522@163.com,电 话:18222701522; 倪文军,通信作者,高级工程师,本科,主要从事 电子工程检测及仪器研究,E-mail:308219904@qq.com

佩戴使用时并无负担。所述攀爬防护装置需从船上 引下一根牵引绳,将攀爬防护装置穿过牵引绳即可 使用。引航员登离船过程中,攀爬防护装置无需人体 进行携带,其能自动识别引航员的上升和下降,并 跟随引航员移动。

# 1 引航员安全防护装置

# 1.1 姿态监控装置

## 1.1.1 概述

姿态监控装置包括 MCU(Microcontroller Unit)、 电源供电模块、姿态监测模块及通讯传输模块。

姿态监控装置佩戴十分简单,只需将其佩戴于 引航员腰间即可。在引航员攀爬过程中,姿态监测模 块实时监测人体的姿态状况,并将姿态信息实时传 送至 MCU 微处理器进行姿态解析,将解除出的人体 攀爬步数通过通讯传输模块送至攀爬防护装置,攀 爬防护装置解析完姿态信息后,实现引航员和攀爬 防护装置的自动移动。

## 1.1.2 MCU 微处理器

本次研究微处理器采用 ST 公司的 STM32F103 C8T6 芯片,该芯片是基于 ARM(Advanced RISC Machine)架构 32 位 Cortex-M3 内核的处理器,其 Cortex-M3 内核满足集功耗低、实时性强、代码效率 高的工业级嵌入式产品领域的特点。该芯片最高可 达 72 MHz 工作频率,1.25 DMips/MHz 的存储器周期 访问时间,内置高速高达 512 K 字节的闪存和 64 K 字节的静态随机存取存储器,三路 12 位 us级 A/D转 换器、四个 16 位通用定时器、两路 IIC(Inter-Integrated Circuit)接口、三路 SPI(Serial Peripheral Interface)接 口、两路 USART(Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter)通讯口、12 通道 DMA((Direct Memory Access)控制器等,满足本次研究应用要求<sup>[4]</sup>。

STM32F103C8T6 芯片配置 SPI 总线后,接收 MPU9250 发送的姿态信号。随后将姿态信号送至 FIR 滤波器进行滤波处理,将处理好信号进行步数 判断分析并获取攀爬的步数信息。最后,将处理好步数 信息通过 USART 串口发送给姿态监控装置;除此之外, 该芯片还具有实时监控电源电量和 OLED(Organic Light-Emitting Diode)显示屏人机交互等功能。

# 1.1.3 电源供电模块

姿态监控装置采用 3.7 V、500 mAh 锂电池提供 电源,续航能力可达 5 h,可供引航员登离船多次使 用。该模块通过 USB 接口实现电池充电功能,电池 充电模块采用 TP4056 芯片,充电过程中具有充电检 测灯,装置充电中则红指示灯亮,充满电后绿指示 灯亮。该电压通过 XC6202 芯片输出 3.3V 电压,可 同时给予 MCU、蓝牙、姿态监控装置、OLED 显示 屏等相关模块稳定的 3.3 V 电压。

锂电池工作环境为-20~60℃,该环境先可保证 锂电池正常供电,TP4056芯片工作环境温度为-40℃~ 85℃,该环境温度下芯片工作的电压波动为±0.002V, XC6202芯片工作环境温度为-40℃~85℃,该环境温 度下芯片工作的电压波动为±0.02V,考虑到该装置 使用的 MCU 微处理器工作电压范围为 2~3.6 V,因 此,电源供电模块可在-20~60℃的环境下进行使用, 符合引航员登离船工作需求。

#### 1.1.4 姿态监测模块

姿态监测模块核心芯片为 MPU9250, 该芯片具 有加速度计、陀螺仪和地磁计三个高精度传感器, 可 清晰地捕捉到引航员动作时的三轴加速度、三轴角 速度和三轴磁场。该模块通过 IIC(Inter-Integrated Circuit)总线与 MCU 微处理器进行数据通讯和传输, 最高数据传输率可达 200 Hz, 将原始人体姿态信号 经卡尔曼滤波处理, 消除白噪声和杂波等影响后, 再将其送至 FIR((Finite Impulse Response)滤波器滤 除低频信号<sup>[5-8]</sup>, 该信号能够较为清晰的显示出人体 攀爬过程, 如图 3 所示。通过设定信号的波峰、波谷、 相应的点数阈值及面积阈值, 解决引航员身体随船 起降产生的幅度影响以及引航员攀爬软梯过程中身 体的倾斜和抖动影响, 最终可以识别出引航员登离 船的步数, 实现装置和引航员的同步移动。

将滤波后信号进行步数算法判断后,即可计算 出人体攀爬过程中的步数信息。

#### 1.1.5 通讯传输模块

通讯传输模块采用无线传输方式进行信号发送 和接收,其中无线传输模块采用蓝牙 HC-08 模块,该 模块是基于 Bluetooth Specification V4.0 BLE (Bluetooth Low Energy)蓝牙协议的数传模块。无线工作频 段为 2.4 GHz,调制方式为高斯频移键控。模块最大 发射功率为 4 dBm,接收灵敏度-93 dBm。该模块采 用 3.3 V 电源供电,该模块的 TX 与 Rx 脚与 MCU 微 处理器的 USART 引脚相连,配置该模块为主机工作 模式,配置攀爬防护装置上的蓝牙为从机模式,若 未进行主从机蓝牙配对,模块指示灯每 1 s 闪烁一次,

#### 研究报告 REPORTS



图 3 人体姿态信号 Fig. 3 Human Body Posture Signal

配对成功后指示灯处于常亮状态,此时即可将接收 到的步数指令和姿态信息以无线方式发送到攀爬防 护装置从机蓝牙上,实现信息的无线通讯功能。

# 1.2 攀爬防护装置

#### 1.2.1 概述

攀爬防护装置包括 MCU 微处理器、电源供电模块、通讯传输模块、电机驱动模块及电动锁紧模块。

攀爬防护装置和人体佩戴的安全带挂钩相连, 并将攀爬防护装置穿在牵引绳上,牵引绳适用范围 为10~18cm,用户可根据需求自行选择尺寸。在引航 员攀爬过程中,通讯传输模块检测并接收来自姿态 监控装置的信号,捕捉后送至MCU微处理器进行信 号解析,解析后即可判断出引航员的运动姿态,并 通过 MCU 微处理器控制电机驱动模块驱动两个直 流电机转动,最终实现攀爬防护装置沿牵引绳上升 和下降,实现与引航员同步上升下降移动。当有突发 事故导致引航员即将坠落时,攀爬防护装置启动, 此时机械锁紧装置动作对引航员进行坠落保护;与 此同时,电动锁紧装置动作,对引航员实行坠落防 护保护,从而达到双重保护的作用。当突发事故解决 后,引航员可以通过解除按钮,取消电子锁紧保护 和机械锁紧保护,进而可以继续登离船作业。

#### 1.2.2 MCU 微处理器

攀爬防护装置 MCU 微处理器与姿态监控装置 微处理器型号相同。STM32F103C8T6 芯片通过控制 两路串口实现蓝牙的无线数据传输和串口的有线数 据传输;通过控制两路 IIC 接口实现显示屏和姿态监 测功能;通过 SPI 总线实现存储器(FLASH)实时数据 存储功能;通过 ADC(Analog-to-Digital Converter)数 据采集实现电池电量的显示功能;通过丰富的 I/O 口 实现按键人机交互功能;通过 RTC(Real-Time Clock) 实现实时时钟的显示功能;通过 4 路定时器精确实 现 us 级计时及电控锁紧装置控制。

#### 1.2.3 电源供电模块

电池供电部分是引航员防坠落装置的基础,电 源供电模块采用 24 V/13 600 mAh 聚合物电池供电, 可使用外接充电器进行充电,经测试,该电源能够 为攀爬防护装置供电达 3.5 h,足以满足引航员多次 登离船风险作业。除此之外,该模块还配置低电量报 警功能,实现电源的实时监测及对使用者的电量提 醒。该电压为相关元器件和两路直流电机供电并提供 大功率,以保证直流电机和芯片的稳定工作;经过 LM2575D2T-5将 24 V转移成 5 V电压为电控锁紧装 置供电;通过 AM1117 芯片将 5 V电压转移成 3.3 V 电压供 MCU、OLED、蓝牙、串口等相关模块供电。

### 1.2.4 通讯传输模块

通讯传输部分包括两部分:一是 USB 串口通讯 电路,二是无线蓝牙通讯电路,其通讯连接图如图 4 所示。其中 USB 串口通讯电路用于连接电脑等上位 机软件,通过输入指令进行数据查询和参数设置等 功能;攀爬防护装置的无线蓝牙配置<sup>[9]</sup>为从机蓝牙, 其接收姿态监控装置主机蓝牙发送的信息和指令, 上电配对成功后即可实现互相通讯。



Fig. 4 Schematic diagram of communication transmission

# 1.2.5 电机驱动模块

电机驱动模块能够驱动两个 24 V/30 W、150 转 的直流电机,可使 6 kg 攀爬防护装置实现上升和下 降。电机通过 MCU 发送的驱动信号,经过光耦电路 进行传送,防止了电源尖峰电压造成的影响,通过 控制 P 和 N 互补 MOS 管实现 H 桥,进而驱动电机正 反转和启停功能<sup>[10]</sup>,其 H 桥电路图如图 5 所示。

除此之外,该驱动模块实现了欠压保护功能, 每路电机驱动电路额定输出电流能够达到7A,能够 提供两路电机进行同时驱动。

#### 1.2.6 电动锁紧模块

电动锁紧具备速度快和扭矩大的功能,其采用 舵机进行控制,能够实现 0.98 Nm 的锁紧扭矩,当人 体坠落时,可以迅速推动机械装置锁紧杆,使其与 牵引绳间的摩擦力增大,实现安全防护作用,且电 动锁紧模块可在人体坠落时迅速做出反应,反应速 度仅为 0.2 s,及时防止人体的坠落。

MCU 微处理器中的定时器提供给该模块 20 ms 的脉冲信号,并通过调节定时器的时基改变定时器 占空比从而实现电动锁紧模块的移动行程。



图 5 驱动电机 H 桥电路 Fig. 5 H-Bridge circuit of the drive motor

# 1.2.7 应急处理模块

应急处理模块用于装置运行过程中应急事件的 处理,该模块可在装置通讯连接发生故障时解决引 航员和攀爬防护装置同步移动问题。 该模块采用船型开关控制,当引航员使用过程 中发生故障时,可通过按动船型开关,给予 MCU 微 处理器应急处理指令, MCU 识别指令后,驱动电机 驱动模块动作,实现攀爬防护装置自动攀爬移动, 进而解决通讯故障下装置的同步移动功能。

# 1.3 系统软件设计

安全防护装置系统软件采用 RVMDK5.0 (Real-ViewMDK5.0)环境下的 C 语言进行开发,该软件的 程序设计采用功能模块化的设计方式实现,保证测 试过程中的调试便利和编写方便。模块主要包括:系 统参数配置模块、姿态数据接收模块、姿态数据处 理模块、姿态数据判断模块、数据存储处理模块、 指令发送模块、电量显示模块及显示刷屏模块,其具 体流程图和模块间连接关系如图 6 所示。





# 2 试验分析

通过对引航员防坠落装置进行测试,检测该装 置是否能够实现对引航员的人身安全防护和智能便 携控制,试验场地配备软梯、牵引绳、安全带等,以 模拟引航员登离船过程中的试验场景,如图 7 所示。



图 7 引航员登离船模拟测试环境 Fig. 7 Pilot test environment for ship departure

鉴于安全防护装置涉及引航员登离船过程中的 安全、步数判断精确性及电子通讯传输等问题,因此 分别从承重性、姿态监控性能、通讯传输性能三个 方面对该装置进行试验分析。

# 2.1 承重性试验分析

使用攀爬防护装置分别模拟引航员登离船坠落 过程,设置坠落距离为 50 cm,测试该装置承重性, 每组测试 10 次,测试结果见表 1。

测试结果表明,该装置能够承受 200 kg 以内重量的物体进行坠落防护,考虑到正常引航员的体重在200 kg 以内,因此测试结果符合要求,满足承重需求。

# 2.2 姿态监控性能试验分析

使用攀爬防护装置通过攀爬软梯分别模拟引航 员登离船坠落过程,分别攀爬不同的软梯阶数,每 组测试八次,测试结果见表 2。

测试结果显示,攀爬防护装置能够较为精确地 跟踪人体姿态特征,判断出人体攀爬软梯过程中的 软梯阶数,符合设计需求。

# 2.3 通讯传输性能试验分析

使用人体姿态监控装置与攀爬防护装置进行通讯设置,设置成功后,分别测试相应的数据指令,如图8所示,监测指令传输过程中的丢包率,测试结果见表3。

表 1	承重性测试	
Tab.	1 Load-bearing	test

					平均下滑	骨距离/cm				
重量/kg	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次
100	3.0	2.6	3.2	3.8	2.8	4.1	2.6	2.2	3.2	3.3
120	3.1	3.0	2.9	3.2	2.9	3.2	2.5	3.2	3.3	2.3
140	3.4	3.6	2.7	3.5	2.0	4.0	2.7	3.3	4.3	3.6
160	3.5	3.5	3.3	3.2	3.1	3.2	3.9	4.3	4.3	2.8
180	3.2	3.3	3.7	3.0	4.4	2.4	3.0	4.2	3.3	3.9
200	3.3	3.2	3.4	2.9	2.7	2.7	2.6	3.2	3.0	4.0

#### 表 2 引航员攀爬软梯阶数判断试验

Tab. 2 Judgement test of the pilot climbing ladder

标 槌 险 粉 / 险	攀爬防护运动阶数/阶							
47147191 327191	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次
3	3	3	4	3	4	4	3	3
5	5	5	5	5	6	5	6	5
7	6	7	7	7	7	7	6	7
9	9	8	9	9	8	8	9	9
11	12	10	11	12	11	11	10	11
13	13	13	13	13	14	13	12	13
15	15	15	14	15	15	14	15	16
17	17	17	16	17	16	17	18	17



#### 图 8 通讯传输功能测试

Fig. 8 Communication transmission function test

表	3	通讯稳定性测试—传输距离

Tab. 3 Co	mmunication stab	ility test—transn	nission distance
传输距离	5 发送数据数	接收数据数	丢包率

传输距离	反达数据数	按収奴据奴	去包举	
/m	/条	/条	/%	
1	10 000	9 937	0.63	
5	10 000	9 902	0.98	
10	10 000	9 876	1.24	
15	10 000	9 803	1.97	
20	10 000	9 725	2.75	
25	10 000	9 560	4.40	
30	10 000	9 333	6.67	

测试结果表明,攀爬防护装置与姿态监控装置 的传输通讯丢包率随着传输距离的增加而增加,考 虑到攀爬防护装置与姿态监控装置在使用中的实时 距离为3m以内,因此丢包率符合使用需求。

考虑到引航员登离船过程中低温可能对通讯传 输的稳定造成影响,在传输距离为5m条件下,改变 环境温度,检测攀爬防护装置和姿态监控装置发送 指令过程中的丢包率,测试结果见表4。

表 4 通讯稳定性测试—低温状态

Tab. 4	Communication	stability	test-low	temperature
		~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~		

			-
测试温度	发送数据数	接收数据数	丢包率
/°C	/条	/条	/%
-10	10 000	9 850	1.50
-5	10 000	9 860	1.40
0	10 000	9 882	1.18
5	10 000	9 888	1.12
10	10 000	9 902	0.98

测试结果表明,攀爬防护装置与姿态监控装置 传输通讯丢包率随着温度的降低而增加,其中最大 丢包率达到 1.50%,考虑到在步数判断程序中数据 传输的频率需求,该丢包率符合该项目需求。

# 3 结论

本研究针对引航员登离船过程中的安全性和便 捷性问题,研制了一套安全防护装置,该装置佩戴 轻便、简单,操作方便、智能,实现了引航员登离船 过程中安全防护装置自动跟随保护功能。通过对该 装置的承重性能、姿态监控性能和通讯传输性能等方 面的测试分析表明,该装置能够符合登离船防护需求, 实现了登离船过程的安全性、便携性和智能化。

# 参考文献:

- 杨昆瓒, 江福才, 刘通. 引航员登离船水域选址模型 及算法[J]. 上海海事大学学报, 2016, 2: 35-39.
   Yang Kunzan, Jiang Fucai, Liu Tong. Location model and its algorithm of pilot boarding waters[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2016, 2: 35-39.
- [2] 张宗京. 引航员安全登船方式选择与事故预防之间 关系[J]. 珠江水运, 2018, 7: 85-87.
   Zhang Zongjing.Relationship between selection of safe boarding mode and accident prevention[J]. Pearl River Water Transport, 2018, 7: 85-87.
- [3] 杨社建,刘纪,孙新,等.关于国际规范要求的引航员梯结构研究[J].规则规范及标准,2018,2:73-84.
  Yang Shejian, Liu Ji, Sun Xin, et al. On conifguration of pilot ladder required by international regulations[J]. Ship & Boat, 2018, 2: 73-84.
- [4] 邢扬, 俞竹青, 张学剑, 等. 基于 STM32 控制的水冷 壁爬壁机器人的气动检测系统的研究[J]. 制造业自 动化, 2018, 5: 19-23.

Xing Yang, Yu Zhuqing, Zhang Xuejian, et al. Study on pneumatic detecting system of wall climbing robot based on STM32 control[J]. Manufacturing Automation, 2018, 5: 19-23.

- [5] 李玲玲,范锦彪,王燕. 侵彻加速度信号的低通滤波 方法[J]. 探测与控制学报, 2016, 2: 53-56.
  Li Lingling, Fan Jingbiao, Wang yan. Low-pass filtering for penetration acceleration signal[J]. Journal of Detection & Control, 2016, 2: 53-56.
- [6] 冯美艳. STM32处理器的参数可变 FIR 数字滤波器设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用. 2017, 9: 70-72, 77.
   Feng Meiyan. Variable parameters FIR digital filter design based on STM32[J]. Microcontrollers & Embedded Systems.2017, 9: 70-72, 77.
- [7] 刘文波, 于盛林. 进化规划在频率采样型 FIR 滤波器 设计中的应用[J]. 南京航空航天大学学报(英文版), 2000, 2: 218-223.
  Liu Wenbo, Yu Shenglin. An application of evolutionary programming in fIR filter design with frequency sampling method[J]. Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2000, 2: 218-223.
- [8] 钱泽斌,严伟.一种低资源数字抽取滤波器设计[J]. 北京大学学报, 2018, 2: 315-319.
  Qian Zebin, Yan Wei. Low resource consumption design of digital decimation filter[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2018, 2: 315-319.
- [9] 赵翔云,宋青蔚,阎一凌,等.一种可蓝牙通讯的微型迷宫机器人[J].应用科技,2018,2:70-75.
   Zhao Xiangyun, Song Qingwei, Yan Yiling, et al. Micro maze robot with bluetooth communication[J]. Applied Science and Technology, 2018, 2: 70-75.
- [10] 王向军, 王晓青. 小型力矩电机波动力矩的测量[J]. 光学精密工程, 2016, 6: 1359-1364.
  Wang Xiangjun, Wang Xiaoqing. Measurement of torque ripples for small torque motors[J]. Optics and Precision Engineering, 2016, 6: 1359-1364.

# Research on the climbing protection device for pilot boarding

LI Xian-rui<sup>1</sup>, CHEN Li-hui<sup>2</sup>, NI Wen-jun<sup>1</sup>, LI Ke-guo<sup>1</sup>

(1. Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China; 2. Tianjin FangYou Engineering Consultative Co. LTD., Tianjin 300455, China)

## Received: Sept. 28, 2018

Key words: pilot; climbing protection; automatic following; intelligence

Abstract: During the pilot's departure from the ship, using the manual method to move the seat belt up and down is complicated and can cause injuries. A new automatic climbing protection device for landing ships was proposed to solve the problem involving attitude monitoring and climbing protection devices. The posture monitoring device obtains human posture information through the MPU9250 and enables the assessment of human steps. The climbing protection device uses the DC motor as the driving source. The synchronous wheel group, mechanical structure, locking structure, and electronic control device of the climbing protection device were designed to automatically follow the human body during pilot departure from the ship. The experimental results show that the device has better intelligence, portability, and safety than the traditional manual climbing method.

(本文编辑:李晓燕)