

文本复制检测报告单(全文标明引文)

№:ADBD2021R_2021072315351220210723154742311183133215

检测时间:2021-07-23 15:47:42

检测文献: 027

作者:

检测范围: 中国学术期刊网络出版总库

中国博士学位论文全文数据库/中国优秀硕士学位论文全文数据库

中国重要会议论文全文数据库

中国重要报纸全文数据库

中国专利全文数据库

图书资源

优先出版文献库

学术论文联合比数据库

互联网资源(包含贴吧等论坛资源)

英文数据库(涵盖期刊、博硕、会议的英文数据以及德国Springer、英国Taylor&Francis 期刊数据库等)

港澳台学术文献库

互联网文档资源

源代码库

CNKI大成编客-原创作品库

个人比对库

时间范围: 1900-01-01至2021-07-23

检测结果

去除本人文献复制比: 17.7%

跨语言检测结果: 0%

去除引用文献复制比: 17.6%

总文字复制比: 17.7%

单篇最大文字复制比: 16.9% (引航员登离船安全防护系统的研制)

重复字数: [6882]

总段落数: [4]

总字数: [38831]

疑似段落数: [4]

单篇最大重复字数: [6564]

前部重合字数: [661]

疑似段落最大重合字数: [2517]

后部重合字数: [6221]

疑似段落最小重合字数: [1015]



指 标: ☐ 疑似剽窃观点 ☒ 疑似剽窃文字表述 ☐ 疑似整体剽窃 ☐ 过度引用

表 格: 0

公 式: 没有公式

疑似文字的图片: 0

脚注与尾注: 0

9.9%(1015) 9.9%(1015) 027_第1部分 (总10242字)

26.6%(2517) 26.6%(2517) 027_第2部分 (总9472字)

18.4%(1789) 18.4%(1789) 027_第3部分 (总9705字)

16.6%(1561) 16.6%(1561) 027_第4部分 (总9412字)



(注释: 无问题部分 文字复制部分 引用部分)

1. 027_第1部分

总字数: 10242

相似文献列表

去除本人文献复制比: 9.9%(1015)

文字复制比: 9.9%(1015)

疑似剽窃观点: (0)

1	引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比数据库》 - 2019-11-25	8.4% (860) 是否引证: 否
2	201911050050071758_张越_引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比数据库》 - 2019-11-05	8.4% (860) 是否引证: 否
3	S2038101429_张越_引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比数据库》 - 2019-11-24	8.4% (860) 是否引证: 否
4	201911042219471708_张越_引航员登离船安全防护系统的研制	8.4% (860)

	张越 - 《学术论文联合比对库》 - 2019-11-04	是否引证: 否
5	引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比对库》 - 2019-10-29	8.0% (820) 是否引证: 否
6	我国建筑生产安全事故的主要类型及其防范措施 李晓东;陈琦; - 《土木工程学报》 - 2012-08-15	0.7% (70) 是否引证: 否
7	石油开采过程常见事故类型及原因分析 许兰娟;苏赫; - 《安全》 - 2011-06-15	0.7% (70) 是否引证: 否
8	建筑施工高处坠落事故产生的原因及预防措施 王晓丹; - 《内江科技》 - 2011-09-25	0.7% (70) 是否引证: 否
9	基于Unity 3D技术的虚拟演练实验平台案例分析 潘悦;李连林;朱彦霏;辛放;王震; - 《电子技术》 - 2021-02-20	0.5% (49) 是否引证: 否
10	对高危作业的释义 赵磊; - 《青春岁月》 - 2012-11-08	0.5% (49) 是否引证: 否
11	坠落防护产品在湘钢的应用 樊坤杰; - 《劳动保护》 - 2021-03-01	0.5% (47) 是否引证: 否
12	高空抛物罪的立法反思与教义适用 林维; - 《法学》 - 2021-03-20	0.5% (47) 是否引证: 否
13	解析高空清洗行业标准 孙燕; - 《安全》 - 2011-05-15	0.5% (47) 是否引证: 否
14	浅谈化工设备的安全检修 王慧军; - 《化学工程与装备》 - 2013-09-15	0.5% (47) 是否引证: 否
15	水电工程安全监测设计中的人性化理念 菅强;崔剑武;张云广;齐道怀;周期颐; - 《云南水力发电》 - 2021-02-15	0.4% (39) 是否引证: 否
16	基于化工生产高处作业的风险辨识与安全对策探讨 单锡均; - 《广州化工》 - 2021-06-23	0.4% (37) 是否引证: 否
17	浅谈高层建筑施工安全措施 王峰;李晓鸿; - 《内蒙古科技与经济》 - 2011-02-15	0.3% (33) 是否引证: 否
18	水泥复合薄壁芯管现浇混凝土空心楼盖施工 胡鑫建; - 《上海建设科技》 - 2011-02-21	0.3% (33) 是否引证: 否
19	公路工程高处作业安全技术及防范 于全新; - 《科技信息》 - 2011-04-25	0.3% (33) 是否引证: 否
20	OSHA 29CFR 1926对坠落防护系统挂点的要求 杨文芬;欧泽兵; - 《安全》 - 2011-09-15	0.3% (33) 是否引证: 否

原文内容
<div> <div>专业硕士学位论文</div> <div>引航员安全防护装置系统研究Research on Pilot Safety Protection Device System</div> <div>2021 年 6 月</div> <div>国内图书分类号: TP23 学校代码: 10079</div> <div>国际图书分类号: 510.8060 密级: 公开</div> <div>专业硕士学位论文</div> <div>引航员安全防护装置系统研究Research on Pilot Safety Protection Device System</div> <div>华北电力大学硕士学位论文原创性声明</div> <div>本人郑重声明: 此处所提交的硕士学位论文《引航员安全防护装置系统研究》, 是本人在导师指导下, 在华北电力大学攻读硕士学位期间独立进行研究工作所取得的成果。据本人所知, 论文中除已注明部分外不包含他人已发表或撰写过的研究成果。对本文的研究工作做出重要贡献的个人和集体, 均已在文中以明确方式注明。本声明的法律结果将完全由本人承担。</div> <div>作者签名: 日期: 年月日</div> <div>华北电力大学硕士学位论文使用授权书</div> <div>《引航员安全防护装置系统研究》系本人在华北电力大学攻读硕士学位期间在导师指导下完成的硕士学位论文。本论文的研究成果归华北电力大学所有, 本论文的研究内容不得以其它单位的名义发表。本人完全了解华北电力大学关于保存、使用学位论文的规定, 同意学校保留并向有关部门送交论文的复印件和电子版本, 允许论文被查阅和借阅, 学校可以为存在馆际合作关系的兄弟高校用户提</div> <div>供文献传递服务和交换服务。本人授权华北电力大学, 可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文, 可以公布论文的全部或部分内容。</div> </div>

本学位论文属于（请在以上相应方框内打“√”）：
保密□，在年解密后适用本授权书
不保密□
作者签名： 日期： 年月日 导师签名： 日期： 年月日

摘要

引航员是引领轮船进港停泊的特殊技能人才，人员严重缺少，但引航员在进行登离船作业中偶有事故发生，其事故的致死率高达各行业的 10 倍。因此，

针对引航员的需求，建设一套引航员登离船安全防护装置系统十分必要。通过前期调研分析，引航员在进行登离船作业的坠落风险是致死的最重要因素，影响该因素的原因包括港口巷道复杂、登离船风浪较大、船舶大型化、引航梯未定期维护等。国内外均对引航员登离船装置、引航梯、舷梯、照明设施等有相关硬性要求和指标考核。然而这些要求和考核，仅是事前预防和事后补救，在事中登离船过程中并未有合适的防范措施和装置。基于引航员对登离船过程中安全防护装置的迫切需求，本文进行了引航员登离船安全防护装置的研究，

用于在引航员进行登离船作业时提供人身安全保障。

论文针对引航员进行登离船作业时的安全问题，设计并研究一套携带便携、

操作简便，能够在引航员坠落瞬间给予人体双重防护的引航员安全防护装置系统。首先，针对引航员在登离船作业这一动态过程进行引航员的安全防护装置系统总体方案设计；然后，针对引航员的安全防护装置系统硬件部分进行设计，

实现装置的自动跟踪和坠落防护；再次，针对引航员的安全防护装置系统软件部分进行设计，实现爬梯过程中的步数识别和动态监测；最后，对引航员安全防护装置系统的软件功能、爬梯防护、姿态识别进行调试和验证，测试结果表明，装置的姿态判断的正确率可达 99.45%，可承受 200kg 的重物坠落，实现引航员登离船过程中的自动跟踪和动态防护。

关键字：引航员，姿态识别，爬梯防护

II

Abstract

Pilots are talents with special skills who lead ships to berth in ports is a serious shortage of personnel. However, pilots occasionally encounter accidents during embarkation and disembarkation operations, and their fatalities are as high as 10 times that of various industries. Therefore, it is very necessary to build a set of safety protection device system for pilot according to the pilot's needs. Through preliminary investigation, the risk of pilots' falling during embarkation and disembarkation operations is the most important factor leading to death. Reasons affecting this factor include complicated port tunnels, heavy waves during embarkation and disembarkation, large ships, and unscheduled maintenance of the pilot ladder. there are relevant rigid requirements and index assessments for pilot embarkation and disembarkation devices, pilot ladders, and lighting facilities. However, these requirements and assessments are only pre-prevention and post-remediation, and there are no appropriate preventive measures and devices during the embarkation and disembarkation process. Based on the urgent needs of pilots for safety protection devices, this paper conducts research on pilot embarkation and disembarkation safety protection devices, which are used to provide personal safety protection when pilots embark and disembark. Aiming at the safety of pilots during boarding and disembarking operations, the paper designs and studies a pilot safety protection device system that is portable, easy to operate, and can provide double protection to the human body when the pilot falls. First of all, the overall plan design of the pilot safety protection device system was carried out for the dynamic process of pilot boarding and disembarking and climbing the soft ladder; Secondly, design the hardware part of the pilot's safety protection device system to realize the automatic tracking and fall protection of the device; Thirdly, design the software part of the pilot's safety protection device system to realize the step number recognition and dynamic monitoring during the climbing process; Finally, the software functions, climbing protection, and attitude recognition of the pilot safety protection device system are debugged and verified. The test results show that the accuracy of the device's attitude judgment can reach 98.6%, and it can withstand the fall of a 200kg heavy object to achieve piloting.

KEY WORDS: pilot, gesture recognition, ladder protection

III

IV

目录

摘要	I
ABSTRACT	II
第 1 章绪论	1
1.1 课题背景及研究的目的和意义	1
1.2 国内外研究现状	

1.2.1 国外研究现状	2
1.2.2 国内研究现状	2
1.3 本文的研究内容	4
第 2 章领航员安全防护装置系统总体方案设计	7
2.1 引言	8
2.2 系统总体方案设计	8
2.3 姿态感知子系统设计	10
2.4 爬梯防护子系统设计	11
2.4.1 爬梯防护子系统爬绳和防护部分机械结构设计	11
2.4.2 爬梯防护子系统外壳设计	12
2.5 本章小结	14
第 3 章领航员安全防护装置系统硬件设计	15
3.1 引言	15
3.2 总体硬件设计	15
3.3 姿态感知子系统硬件设计	16
3.3.1 电源单元设计	16
3.3.2 MCU 微处理单元设计	18
3.3.3 时间显示单元设计	19
3.3.4 姿态信号采集单元设计	19
3.3.5 气压高度信号采集单元设计	21
3.3.6 FLASH 存储单元设计	22
3.3.7 显示单元设计	22
3.3.8 蓝牙通讯单元设计	23
3.4 爬梯防护子系统硬件设计	24
3.4.1 电源单元设计	24
3.4.2 MCU 微处理单元设计	24
3.4.3 时钟显示单元设计	25
3.4.4 低电压检测及报警单元设计	26
3.4.5 显示单元与按键单元	26
3.4.6 蓝牙通讯单元	27
3.4.7 电机驱动单元设计	27
3.5 领航员安全防护装置系统硬件实现	28
3.5.1 硬件电路 PCB 设计	28
3.5.2 硬件电路板调试	29

3.6 本章小结	29
第 4 章引航员安全防护装置系统软件设计	30
4.1 引言	30
4.2 姿态感知子系统软件设计	31
4.3 姿态感知子系统软件配置	31
4.3.1 晶振部分配置	31
4.3.2 通讯部分配置	32
4.3.3 I/O 部分配置	32
4.4 姿态感知子系统爬梯步数算法设计	33
4.4.1 姿态信号处理	33
4.4.2 基于经验模态分解的姿态信号处理算法研究	36
4.4.3 姿态方向步数判断算法	VI
4.5 爬梯防护子系统软件设计	43
4.6 爬梯防护子系统软件配置	45
4.6.1 参数部分配置	45
4.7 装置与上位机间通信协议	45
4.7.1 姿态感知子系统与上位机间通信协议	46
4.7.2 爬梯防护子系统与上位机之间的通信协议	47
4.8 本章小结	49
第 5 章系统调试与验证	50
5.1 引言	50
5.2 系统软件调试与验证	50
5.2.1 姿态信号姿态判断软件调试与验证	50
5.2.2 气压信号姿态判断软件调试与验证	52
5.2.3 姿态方向步数判断算法软件调试与验证	55
5.3 爬梯防护子系统机械装置安全性测试	58
5.4 姿态感知子系统和爬梯防护子系统样机测试	58
5.5 本章小结	60
第 6 章结论与展望	61
6.1 总结	61
6.2 展望	62
参考文献	63
攻读硕士学位期间发表的论文及其它成果	67
致谢	错误!未定义书签。
作者简介	错误!未定义书签。 1
第 1 章绪论	
1.1 课题背景及研究的目的和意义	根据我国制定的《中华人民共和国海上交通安全法》、《中华人民共和国港口法》、《中华人民共和国内河交通安全管理条例》中对引航员的引航制度需进行强制执行, 据不完全统计, 截止到 2016 年, 我国拥有

引航员三千余人，引航机构 40

余家，并于 2008 年成立引航协会，年引航量超过 30 万艘次。据不完全统计分析，如从助理引航员晋升到一级引航员需要的时间在 10 左右，培养周期相对于其他行业来说相当长[1]。然而，目前我国仅有 3000 多名一级引航员，数量及其稀少，一级引航员的珍贵程度“堪比”大熊猫。引航员在船舶进入锚地时需对船舶进行指引工作，因此需要爬梯上船。据不完全统计分析，引航员每年进行登离船爬梯过程中发生的事故致死率高达 5.4%，高出同期各行业平均职业工伤致死率将近 10 倍[2]。

引航员登离船爬梯作业显然已成为一种高难度的技术性职业。在美国发布的职业危险系数排行榜中，引航员危险性仅次于矿工和试飞员，是世界排名前三的危险行业。

引航员在进行港口引航作业过程中，登离船该环节产生的风险最容易发生，也是最为集中的环节。

SOLAS 公约规定针对引航员登离船装置的要求在 1994 年 1 月 1 日正式实施。

国际引航协会（IMPA）、国际海事组织（IMO）、航海界、各国船级社和各国引航机构均十分重视引航员登离船过程中的安全，但一次又一次发生的引航员伤残事故，促使 IMO、IMPA 等组织不停地针对各种缺陷，修改并完善引航员登离船装置以及船上布置的规定，并强制要求相关船舶进行具体实施。2010 年 12 月 3 日，IMO

海上安全委员会（MSC）第 88 次会议，通过第 308 号文件中有针对 SOLAS 公约修正案的决议，即 IMO A.1045（27）决议，该决议指定各单位于 2012 年 7 月 1 日生效并实施[3]。

随着船舶吃水深度加深和大型化等因素的影响，导致目前需在更远的地方进行船舶引航，引航员登离船爬梯过程中的风险因素越来越多，船艙与引航艇之间的高度差逐渐增大，登离船爬梯过程中发生坠落的风险也逐日加大，引航员登离船作业亦可归属为高空作业范畴[

4,5]。然而，目前相关标准海事组织和机构尚未对防坠落保护装置进行明确要求。

然而，安全问题无小事，一系列的规章制度和操作规程在很大程度上解决了引航员登离船的安全问题，但由于引航工作的高风险性以及相关标准设备的不完善，

引航事故仍时有发生，据国内各家引航站不完全统计，由于各种原因造成引航员落水、扭伤等事故时有发生，整体发生事故风险的概率在万分之一左右。

2016 年 11 月份于广州召开“引航员安全接送和登离船研讨会”，该专题会议

上大连港引航站、唐山港引航站、广州港引航站等多家单位均提出了研究引航员登离船安全风险及研制防坠落装置的意见建议，中国引航协会相关领导和专家也对相关建议表示支持。

综上所述，根据当前需求，拟研制一套便携性、重量轻的引航员登离船的安全防护装置，填补该领域的在坠落防护过程中空白。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究现状韩国引航协会 Korea Maritime Pilot Association (KMPA)对 2004 年至 2013 年共 10 年间韩国发生的引航员坠落事故进行了统计，共发生事故 47 起，发生的平均概率为 0.004%[6]。

时间事故次数引航服务总次数事故概率 2004 2 113026 0.002 2005 4 117279 0.003 2006 5 117688 0.004 2007 4 123238 0.003 2008 3 125677 0.002 2009 5 118073 0.004 2010 4 129984 0.003 2011 6 135095 0.004 2012 10 135196 0.007 2013 4 129893 0.003

合计 47 1245059 0.004

表 1-1 2004 至 2013 年韩国引航坠落事故统计根据日本相关论文资料显示，1989 年至 2008 年共 20 年间韩国发生的引航员坠落事故进行了统计，共发生事故 91 起[7]。

时间（年） 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998

事故（人） 3 7 8 8 4 8 4 3 5 5

时间（年） 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008

事故（人） 2 4 6 3 3 8 4 5 0 1

总计(人) 3

表 1-2 1989 至 2008 年日本引航坠落事故统计图 1-1 全球引航员重大伤亡事故统计根据国际引航协会（IMPA）的统计，平均每年发生 1.86 起重伤死亡事故，因此引航员的登离船作业安全始终是一项重点工作内容。

姿态监测方面，目前市场上的惯导电子产品中绝大部分均具有姿态监测功能，实现姿态监测的方式也多种多样。国外姿态传感技术起步较早，技术水平也较高，成果也较为突出。

2017 年就读于比尔肯特大学的 Yurtman Aras 提出基于姿态识别的坐标方向变换

方法以适应现有的姿态识别系统，以解决使用者在佩戴姿态感知子系统中出现佩戴位置上的错误，如图 1-2 所示，该文章的结果表明，通过改变姿态标识坐标方向的位置变化可提高人体运动识别过程中的判断精度，平均精度比人体使用过程中正确佩戴装置时可降低 11.6%。另外，通过奇异值分解姿态的识别坐标方向变换比正确佩戴装置时技术精确度降低 7.56%，而启发式姿态识别的坐标方向变换技术比正确佩戴装置时技术精确度降低 15.54%[8-12]。

图 1-2 姿态感知子系统佩戴于错误位置

2019 年就读于法国格勒诺布尔大学的 Zmitri 提出两种方法来评估惯导系统的 4 位置和数量对人体姿态运动过程的识别影响，用于解决监督学习过程和识别任务。

如图 1-3 所示，其使用加速度计、陀螺仪、磁力计传感器组成惯性导航单元[13-19]。

通过在身体各个不同部位放置惯磁测量单元来分析人体姿态识别效果。通过利用加速度计和陀螺仪的原始数据输入到指定

的分类器，该过程较为准确，并且无需进行过多的滤波处理。试验结果证明，该方法在人体进行活动中可有效捕获人体姿态信息。一个惯磁测量单元可将人体的 80%姿态信息捕获正确，若在下背部、左大腿（左脚）位置再放置两个惯磁测量单元，可将人体 90%的姿态信息捕获正确。除此之外，

通过获取四元数与加速度计、陀螺仪、磁力计传感器进行比较，结果表明，较少使用四元数数据可以缩短程序的计算时间，精确度上也有显著提高[20-23]。

图 1-3 惯性单元和磁测量单元

1.2.2 国内研究现状引航员登离船爬梯作业显然已成为一种高难度的技术性职业。在美国发布的职业危险系数排行榜中，引航员危险性仅次于矿工和试飞员，是世界排名前三的危险行业。引航员在进港口引航爬梯作业产生的风险最大且事故较为集中。

随着船舶吃水深度加深和大型化等因素的影响，导致目前需在更远的地方进行船舶引航，引航员登离船爬梯过程中的风险因素越来越多，船舷与引航艇之间的高度差逐渐增大，登离船爬梯过程中发生坠落的风险也逐日加大，引航员登离船作业亦可归属为高空作业范畴[

4, 5]。我国国标 GB/T 3608-2008 中相关条文有明确规定：

“凡在坠落高度基准面 2m 以上（含 2m）有可能坠落的高处进行作业，都称为高处作业。”通过该条文分析可知引航员登离船爬梯作业亦可归属为高空作业范畴。然而，目前相关标准海事组织和机构尚未对防坠落保护装置进行明确要求。

我国引航协会作为是由引航机构为主自愿组成的非营利性全国引航行业自律组织，自 08 年成立以来一直高度重视引航员登离船安全问题，沿海各个省市区引航站也相继出台了大量的标准规定解决引航员登离船安全防范问题。如大连港引航 5

站从 10 年到 15 年间先后发布了八项规章制度解决引航安全问题，上海港引航站先后制定了《引航接送程序》、《引航员登离轮安全管理规定》、《长江口引航船引航接送规范》、《大风浪引航作业区引航接送规范》、《交通船队安全接送规范》、

《防止员工人身伤害安全管理规定》等用于防范相关风险，并从制度保障、岸基支持、安全教育、广泛宣传等多方面乏力解决引航员登离船安全问题。唐山港引航站也先后制定多项规章制度用于防范引航员登离船安全风险。如图 1-4 所示，中国引航协会亦于 2016 年 11 月在广州召开“引航员安全接送和登离船研讨会”专题会议讨论引航作业安全问题。

图 1-4 引航站相关规章制度然而，安全问题无小事，一系列的规章制度和操作规程在很大程度上解决了引航员登离船的安全问题，但由于引航工作的高风险性以及相关标准设备的不完善，引航事故仍时有发生，据国内各家引航站不完全统计，由于各种原因造成引航员落水、扭伤等事故时有发生，整体发生事故风险的概率在万分之一左右。

根据我国制定的《中华人民共和国海上交通安全法》、《中华人民共和国港口法》、《中华人民共和国内河交通安全管理条例》中对引航员的引航制度需进行强制执行，据不完全统计，截止到 2016 年，我国拥有引航员三千余人，引航机构 40 余家，并于 2008 年成立引航协会，年引航量超过 30 万艘次。

据不完全统计分析，如从助理引航员晋升到一级引航员需要的时间在 10 左右，培养周期相对于其他行业来说相当长[1]。然而，目前我国仅有 3000 多名一级引

航员，数量及其稀少，一级引航员的珍贵程度“堪比”大熊猫。引航员在船舶进入锚地时需对船舶进行指引工作，因此需要爬梯上船。据不完全统计分析，引航员每年进行登离船爬梯过程中发生的事故致死率高达 5.4‰；跟据引航协会的统计，我国于 2003 年到 2016 年每年均存在引航员在登离船过程中丧生，如图 1-5 所示。因此引航员登离船爬梯过程的安全成为亟需解决的问题。 6 1 1 1 2 4 2 3 2 1 1 3 2 1 2 0 1 2 3 4 5

2003年 2004年 2005年 2006年 2007年 2008年 2009年 2010年 2011年 2012年 2013年 2014年 2015年 2016年

图 1-5 引航员登离船死亡状况图姿态感知方面，基于对人体姿态的监测和识别的需要，国内众多高校也投身于姿态感知技术的研发工作。

2019 年，针对普通行人计步器的需求，浙江理工大学吴晨杰[

11]等基于阈值辨别

技术进行实时计步开发，但该种技术方法基于人体动态运动工程中的数据与初步设计的阈值进行比较，在精准度和环境适应等方面判断精度较低，无法实现复杂环境中的精确步数测量。

2019 年，针对于姿态运动过程中步数精度识别的提高，河海大学彭琛等基于深

度强化学习的计步方法，利用循环神经网络技术解决传统步数识别判断过程中阈值设定固定等问题，将计步过程中噪声抑制到 91%，精度误差降至 6.2%，在计步精度和抗噪声能力上较传统方法有了较大提高。

2018 年，针对公司货物分拣、包装和装卸等操作过程员工动态监控问题，上海

理工大学朱军等将姿态识别和蓝牙通讯两种数据结合，基于计步器和蓝牙的融合算法实现室内员工定位功能[

30-35]。如图 1-6 所示，该算法获取的监控线路图，可利用

蓝牙进行计数器使用过程中的跳动和偏移问题。

图 1-6 算法效果比较 7

1.3 本文的研究内容本文旨在研制一套引航员安全防护装置系统，该系统解决引航员登离船过程中风险高但无有效安全防护的问题，该系统可实现引航员登离船过程中的自动化安全防护，适用于海上引航员登离船作业时的人体安全保护。它携带方便、操作简便，

能够在引航员坠落瞬间给予人体双重防护。该装置研究填充引航员登离船领域的空白。本文共分为六章节，内容安排如下

:

第一章，绪论。阐述论文的研究背景和选题意义，介绍了引航员安全防护装置系统研究的主要内容和章节安排。

第二章，引航员安全防护装置系统总体方案设计。本章主要描述系统的总体方案设计，并具体介绍了姿态感知子系统和爬梯防护子系统。

第三章，引航员安全防护装置系统硬件设计。本章主要从姿态感知子系统和爬梯防护子系统两方面硬件进行了展开，介绍引航员安全防护装置系统总体硬件设计，最后展示了硬件系统的设计成果。

第四章，引航员安全防护装置系统软件设计。本章姿态感知子系统方面，先对系统软件进行设计，然后对其进行配置，再次对爬梯步数算法进行设计；爬梯防护子系统方面，先进行系统的软件设计，再进行软件实现，最后进行两个子系统间的通信。

第五章，系统调试与验证。本章针对引航员安全防护装置系统进行整体调试和验证，具体包括姿态信号识别及算法优化、气压信号识别及算法优化以及姿态方向和步数识别和算法优化调试和验证，并得出结论：跟踪精度和安全防护符合要求，

可实现引航员登离船过程中的自动跟踪和动态防护。

第六章，总结和展望，对论文工作进行总结，并明确下一步研究。 8

第 2 章引航员安全防护装置系统总体方案设计

2.1 引言引航员安全防护装置系统包括爬梯防护子系统和姿态感知子系统两部分，爬梯防护子系统可在引航员登离船过程中进行全程人体跟踪和实时防护功能，并在人体发生坠落时进行及时锁紧保护；姿态感知子系统可全程监控引航员登离船过程中的姿态信息，识别出引航员登离船运动状态，并将姿态信息传送给攀防护装置，实现引航员和爬梯防护子系统的同步跟踪功能。

本章的结构安排：2.2 节对引航员安全防护装置系统进行总体方案设计；2.3

节对引航员安全防护装置姿态感知子系统进行设计；2.4 节对引航员安全防护装置爬梯防护子系统进行设计；2.5 节为本章总结。

2.2 系统总体方案设计引航员在登离船爬梯时是一个动态运动过程，而目前市场使用的绝大多数防护装置均是静态防护。针对该问题设计安全防护系统主要由姿态感知子系统和爬梯防护子系统两部分组成。爬梯防护子系统可在引航员登离船过程中进行全程人体跟踪和实时防护功能，并在人体发生坠落时进行及时锁紧保护；姿态感知子系统可全程监控引航员登离船过程中的姿态信息，识别出引航员登离船运动状态，并将姿态信息传送给攀防护装置，实现引航员和爬梯防护子系统的同步跟踪功能。为了动态感知引航员实时爬梯过程中的运动状态，通过姿态传感器获取加速度信号，通过气压传感器采集高度信号，通过加速度信号和高度信号的融合算法计算，识别引航员的爬梯状态，最终实现引航员登离船爬梯过程中人体姿态的动态感知。除此之外，电路设计上分为两个主控电路，即姿态感知电路和爬梯防护电路，通过以 ARM 为核心的 STM32 单片机作为核心处理器，实现上述功能的控制。将爬梯数据先通过 matlab 进行初步仿真实验，确定滤波算法和滤波器参数，在基于 Keil5 开发环境下，完成姿态感知子系统和爬梯防护子系统嵌入式编程，最终实现姿态感知步数判断算法。

姿态感知子系统主控电路通过 4 线 SPI 和 IIC 分别连接姿态传感器、气压传感器以及 OLED 显示屏，通过 UART 实现单片机与传感器间信号交互和通讯， 9

并完成屏幕实时显示功能。姿态感知子系统主控电路与爬梯防护子系统主控电路间采用无线通讯方式，考虑到通讯距离较短、稳定性较高的特点，采用蓝牙进行数据传输。姿态感知子系统主控电路通过解算出人体的实时姿态后，将判断指令传送给爬梯防护子系统主控电路，其控制电机驱动电路实现电机的运转，

从而实现安全防护装置的上升或下降。为便于与 PC 上位机进行通讯，姿态感知子系统主控电路与爬梯防护子系统主控电路均配备串口通讯功能，可实现两主控电路时间、阈值等核心参数的修改，修改后并保存在 FLASH 中。图 2-1

为系统总体结构框架。

图 2-1 系统的总体结构框架图根据上述总体方案设计和研究，本文研究的引航员登离船安全防护系统整体结构由姿态感知子系统和爬梯防护子系统置两大部分组成。

(1)姿态感知子系统：本文研究设计的姿态感知子系统主要以 ARM 单片机芯片作为控制核心，主要功能单元包括人体姿态采集单元，时间显示单元，OLED 显示单元，数据通信单元，状态分析单元、存储单元等构成。

(2)爬梯防护子系统：本文研究设计的爬梯防护子系统主要由以 ARM 单片机芯片作为控制核心，主要由主控电路、电机驱动电路、爬梯机械结构三部分组成。主控电路包括蓝牙通讯单元、OLED 显示单元、人机控制单元、时间显示单元、存储单元等组成；电机通过电机驱动电路实现正反控制和运动，并跟随人体爬梯运动。爬梯机械结构与人体安全服连接，其内部结构中的防坠落锁死机构可在引航员爬梯坠落时保护引航员安全。 10

2.3 姿态感知子系统设计本文解决的主要问题是爬梯防护子系统在人体运动过程中准确感知人体姿态信息，通过算法处理将判断信号给予爬梯防护子系统，实现装置与引航员同步上下移动，从而实现引航员登离船爬梯过程的安全防护。

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 图 1-2 姿态感知子系统佩戴于错误位置 2019 年就读于法国格勒诺布尔大学的
2. 系统总体方案设计引航员在登离船爬梯时是一个动态运动过程，而目前市场使用的绝大多数防护装置均是静态防护。 针对该问题设计安全防护系统主要由姿态
3. 为了动态感知引航员实时爬梯过程中的运动状态，通过姿态传感器获取加速度信号，通过气压传感器采集高度信号，通过加速度信号
4. 姿态传感器、气压传感器以及 OLED 显示屏，通过 UART 实现单片机与传感器间信号交互和通讯， 9 并完成屏幕实时显示功能。
5. 图 2-1 为系统总体结构框架。 图 2-1 系统的总体结构框架图根据上述总体方案设计和研究，本文研究的引航员登离船安全防护系统整体结构由姿态

6. 状态分析单元、存储单元等构成。
- (2)爬梯防护子系统：本文研究设计的爬梯防护子系统主要由以 ARM 单片机芯片

2. 027_第2部分		总字数：9472
相似文献列表		
去除本人文献复制比：26.6%(2517) 文字复制比：26.6%(2517) 疑似剽窃观点：(0)		
1	引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比对库》- 2019-11-25	25.4% (2406) 是否引证：否
2	S2038101429_张越_引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比对库》- 2019-11-24	25.4% (2406) 是否引证：否
3	201911050050071758_张越_引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比对库》- 2019-11-05	23.1% (2189) 是否引证：否
4	201911042219471708_张越_引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比对库》- 2019-11-04	23.1% (2189) 是否引证：否
5	引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比对库》- 2019-10-29	19.1% (1806) 是否引证：否
原文内容		

其中姿态感知子系统实现加速度计信号及气压传感器信号的采集；姿态信号的算法处理；爬梯防护子系统的远程动态控制；爬梯防护子系统的坠落防护以及人机交互功能等功能。

开始采集姿态加速度信号和气压高度信号姿态信号识别与处理引航员向上移动？
引航员是否爬梯？
发送向上指令发送向下指令
开始
N
N
Y
Y

图 2-2 姿态感知控制流程本文采集初步采集姿态传感器的加速度和角度信号值[36, 37]，为消除人体在爬梯过程中晃动产生的噪声和旋转角偏差，需对信号进行处理，主要包括卡尔曼滤波处理、信号正交性修正以及，以及FIR 低通滤波处理，最终确保姿态传感器信号的稳定性和抗干扰性。

初步采用的姿态传感器单元中集成相关气压模块[38-41]，但通过测试发现其分辨率仅为 50 cm，考虑到引航梯间的距离为 30-35cm，因此，该气压模块无法进行精度测量，因此需配备高精度的气压传感器模块，分辨率在 3 cm。

姿态感知子系统的监测控制流程如图 2-2 所示。本文设计了一套安全防护装置，核心控制芯片为 ARM，核心感知模块为姿态传感器和气压传感器。安全 11 防护装置主要由 MCU 微处理单元、蓝牙通讯单元、OLED 显示单元等组成。

本文通过对人体姿态运动过程中姿态传感器加速度、气压传感器高度信号的获取，基于信号卡尔曼滤波处理、信号正交性修正和 FIR 滤波等技术，却保姿态传感器信号的抗干扰性，并将人体爬梯运动方向及步数，通过无线方式发送给爬梯防护子系统，并将姿态感知数据进行存储。通过姿态感知子系统对信号的综合判断和处理，控制爬梯防护子系统动态实时跟随引航员上下爬梯运动。

2.4 爬梯防护子系统设计爬梯防护系统主要分为电子和机械两部分，电子部分主要实现电机驱动、人机交互、信号分析等功能，该部分在后面章节进行详细阐述；机械部分的核心主要是装置爬绳和防护的机械结构设计以及装置外壳的设计，下面对该部分进行简单阐述。

2.4.1 爬梯防护子系统机械结构设计爬梯防护子系统机械结构设计主要包括爬绳和坠落两部分，爬绳部分主要目标是使安全防护装置跟随引航员在安全绳上自动同步实现上下移动，保障上升下降过程中的稳定性。坠落部分主要目标实现人体在坠落过程中的实时防护，

锁紧轮外沿呈马鞍形曲面，上面均匀分布单向齿，便于与扶手绳紧密啮合。当安全箍向上移动时，单向齿为顺行方向，锁紧轮与扶手绳摩擦很小，可以产生滑动摩擦；当安全箍向下移动时，单向齿为逆行方向，锁紧轮与扶手绳之间摩擦很大，只能产生滚动摩擦。锁紧轮固定在摆臂上，摆臂可以绕旋转轴自由转动，在摆臂上安装有扭簧，扭簧压缩摆臂紧靠扶手绳，并与扶手绳之间产生压力，将扶手绳限制在导绳槽和锁紧轮之间。当引航员要进行挂绳或脱绳时，只需单手按住锁紧轮上的手柄，逆时针旋转锁紧轮和摆臂，这样扶手绳就可以从安全箍中自由进出。爬梯防护子系统的机械结构设计如图 2-3 所示。 12

图 2-3 爬梯防护子系统爬梯部分机械结构锁紧轮的内部结构如图 2-4 所示，外侧由可以随锁紧轮自由旋转的拉簧、飞锤、旋转轴、棘爪等组成，内侧由完全固定的挡块以及可以小幅转动的固定棘轮组成。当锁紧轮与扶手绳之间产生滚动摩擦时，锁紧轮会进行旋转运动，

转速达到一定值时，飞锤的离心力会克服拉簧而使棘爪向内侧摆动，与固定棘轮咬合，从而起到制动作用。同时，固定棘

轮会压缩缓冲压簧，起到一定的缓冲作用。

图 2-4 爬梯防护子系统锁紧轮内部结构 13

2.4.2 爬梯防护子系统外壳设计引航员登离船爬软梯时，为防止软梯受恶劣环境影响造成倾斜，故软梯每隔 1.8m 的位置会有防止软梯侧翻的横档，如图 2-5 所示。为便于爬梯防护子系统成功翻越横档，外壳设计采用锥形结构，并采用强度高、防水好的材料，最终设计的效果图如图 2-6 所示。

图 2-5 引航梯横档图 2-6 爬梯防护子系统外壳 14

2.5 本章小结本章基于课题总体研究详细阐述所研究姿态感知子系统和爬梯防护子系统总体方案设计以及具体实现过程，简明扼要的阐述了各相关单元间的联系，提出总体设计方案的逻辑思路和控制结构。最后简单介绍了爬梯防护子系统的机械结构设计，主要包括安全锁紧机构设计和装置外壳设计。 15

第 3 章引航员安全防护装置系统硬件设计

3.1 引言引航员安全防护装置系统的硬件设计包括爬梯防护子系统硬件设计和姿态

感知子系统硬件设计两部分，爬梯防护子系统的硬件设计包括电源供电单元、

MCU 微处理单元、时间显示单元、低电压检测及报警单元、人机交互单元、蓝牙通讯单元和电机驱动单元；姿态感知子系统硬件包括电源供电单元、MCU

微处理单元、时间显示单元、姿态信号采集单元、气压高度信号采集单元、FLASH 存储单元、人机交互单元和蓝牙通讯单元。

本章的结构安排：3.2 节对引航员安全防护装置系统进行总体方案设计；3.3

节对引航员安全防护装置姿态感知子系统硬件进行设计；3.4 节对引航员安全防护装置爬梯防护子系统硬件进行设计；3.5 节实现引航员安全防护装置系统硬件电路设计和调试；3.6 节为本章总结。

3.2 系统总体硬件设计安全防护系统的硬件设计原理如图 3-1 所示，主要包括两大部分：姿态感知子系统主控电路和爬梯防护子系统主控电路，通过两者之间的相互配合实现引航员登离船过程中的坠落防护工作。

姿态感知子系统爬梯防护子系统

MCU微处理器单元 MCU微处理器单元FLASH存储单元 FLASH存储单元蓝牙通讯单元蓝牙通讯单元姿态信号采集单元人机交互单元气压高度信号采集单元人机交互单元时间显示单元时间显示单元电机驱动单元直流

电机

SPI SPI

SPI

IIC

IIC IIC

IO

IO

IO

UARTUART

配对图 3-1 系统的总体硬件设计图姿态感知子系统系在引航员腰间，在引航员登离船爬梯过程中该系统可对人体姿态进行实时姿态监控、姿态识别、步数判断和防坠判断，并将相关姿态 16

信息无线传送给爬梯防护子系统，实现攀爬防护子系统的远程控制。姿态感知子系统硬件包括电源供电单元、MCU 微处理单元、时间显示单元、姿态信号采集单元、气压高度信号采集单元、FLASH 存储单元、人机交互单元和蓝牙通讯

单元组成。MCU 微处理器单元采用 ARM Cortex-M0 内核的处理器，可支持 IIC、

SPI 总线数据传输、模拟量数字量采集、us 级别计时等；电源管理单元具备过压欠压保护和过流保护功能，且配备 USB 充电功能，装置充电更加便携；姿态信号采集单元和气压高度信号采集单元可实现人体的姿态识别、姿态判断及人体攀爬软梯步数判断等，实现人体动态特性的全方位捕捉，具体需采集的姿态感知物理量如下表 3-1 所示。

需测物理量测量精度三轴加速度 0.05 m/s²

三轴旋转角 1°

海拔高度 5 cm

电池供电电压 0.1 V

表 3-1 姿态感知系统所测物理量爬梯防护子系统可对人体进行自动跟踪、全程防护和坠落保护，该装置通过接收姿态感知子系统的相关信息判断设备的运动状态和是否需要保护，如若人体发生坠落风险时，该装置通过机械锁紧方式对引航员进行坠落安全保护，

以防发生坠落事故。爬梯防护子系统的硬件设计包括电源供电单元、MCU 微处理单元、时间显示单元、低电压检测及报警单元、人机交互单元、蓝牙通讯单元和电机驱动单元组成。电机驱动单元具备欠压保护及过载过流保护功能，

可提供驱动装置最大 7A 的额定电流；电源供电单元具备电量监测模块，可实现电源的欠压保护和过流保护功能；通讯传输单元采用蓝牙无线传输和 USB 有线传输，传输速率快，稳定性高。

3.3 姿态感知子系统硬件设计

3.3.1 电源单元设计姿态感知子系统电源单元设计采用 USB 供电，支持 5V 电源电压供电，同 17

时 USB 口还可实现串口通讯功能，这样既节约了成本，有在有限空间内减小了姿态感知子系统的体积，一举两得。姿态感知子系统充电接口为易于匹配和节省空间的 micro USB，并通过 CP2102 芯片将 MCU 微处理器芯片的 UART 口与其相连，实现串口通讯。电源开关控制采用单按键控制，上电后可通过 OLED

显示屏显示电压电量，状态指示灯蓝灯亮，若电量低于 3.7V 后，姿态感知子系统自动进入休眠状态，此时功耗只有 uA 级别。

姿态感知子系统在进行充电过程中有过流保护、过压保护以及涓流充电功能，充电过程中黄灯持续点亮，满电状态下绿灯持续点亮。供电电池为 18650

锂电池，提供姿态感知子系统 12 小时续航；电池充电模块为 TP4056 芯片，该芯片功耗仅为 55uA，通过 USB 口将 5V 电压稳定输出至 4.2 V，再通过 XC6202

芯片转换为 MCU 微处理器单元需要的 3.3 V 电压，电路相关原理如图 3-2 所示。

图 3-2 电源单元原理图如图 3-3 所示，当 S1 按键未触动时，三极管 T1 由于基极与发射极间较小的电压差而处于截止状态，此时姿态感知子系统无法上电，处于关机状态。当按下 S1 按键后，基极与地之间瞬时导通，从而使发射极和基极间的电压差瞬间增大到 3V 左右，从而将三极管 T1 导通，此时将 T1 集电极电压传送给发射极压。再次按下 S1 按键，三极管 D1 由于压差导通，BUT_TEST 引脚由前期的高电平信号瞬间拉低，MCU 微处理单元通过监测该信号的变化将 LOW_JUDGE

管脚由高电平转换成低电平，导通三极管 T2。松开按键 S1，三极管 T1 发射极与基极电压差约为零，三极管 T1 再次处于截止状态，姿态感知子系统关机。 18

图 3-2 电源开关原理图如图 3-4 所示，BAT_CONTROL 控制脚的电压为芯片 XC6202 提供基准电压，并在输出端提供稳定的 3.3V 电压。由于 MCU 微处理器的 BUT_TEST 引脚持续接收到高电平信号，MCU 微处理器单元将 LOW_JUDGE 管脚拉高，三极管 T2 导通，从而保证三极管 T1 基极持续保持为低电压，使姿态感知子系统处于工作状态。

图 3-4 电源稳压单元原理图

3.3.2 MCU 微处理单元设计

姿态感知子系统主控电路选用 STM32F103C8T6。可提供充足的输入/输出 I/O 接口，实现多路数据间的通讯。如图 3-5 所示，其中通过模拟 IIC 电路信号 19

为 OLED 显示屏单元、气压传感器信号采集单元和姿态信号采集单元实现通讯，

一路 SPI 总线实现数据 FLASH 存储单元通讯，两路 USART 接口，一路给蓝牙通讯单元通信，另外一路为 PC 上位机与姿态感知子系统之间的交互提供通讯；

除此之外，MCU 微处理单元还利用 ADC 功能对姿态感知子系统进行低功耗模式设置和看门狗唤醒。经长时间运行监测，MCU 微处理器单元芯片正常工作下电流值为 29mA，睡眠条件下电流值为 7.5 mA，待机工作下电流仅为 5 uA，该低功耗功能满足长时间待机的需求。

图 3-5 MCU 模块原理图

3.3.3 时间显示单元设计时钟芯片选型为 DS1302 芯片，该芯片功耗低，正常工作电流仅 400nA，

该芯片采用输入输出串口通信，通过 32.768 kHz 晶振控制，工作范围为

2.0-5.5V，可提供稳定的 3.3V 电源。时间显示单元芯片采用双电源供电，一路为 3.3V 电源，另一路为 CR1220 纽扣电池提供 1.5V 电源。当姿态感知子系统处于正常工作状态下，锂电池电源电压高于纽扣电池，此时时间显示单元由锂电池提供电源；当姿态感应子系统关机或者待机时，由于锂电池电压此时小于纽扣电池，故 CR1220 纽扣电池进行供电，实现系统的掉电保护功能，设计如图 3-6 所示。 20

图 3-6 时钟显示单元原理图

3.3.4 姿态信号采集单元设计姿态传感器选取 IVS500 惯导芯片，该芯片具有高可靠性。3 轴陀螺仪提供载体坐标系上两两正交的角速率值、3 轴加速度计提供载体坐标系的加速度值，经卡尔曼滤波算法计算，可以在人体运动过程中实时采集所需姿态感知信号。由于 IVS500 内置了稳压电路，具有在 3.3-12 V 的宽电压范围。IVS500 芯片支持 IIC 通讯。芯片最大可支持数据输出速率为 212 Hz，考虑到人体爬梯过程中的运动频率选用 50 Hz。IVS500 使用 4 层 PCB 板工艺，采用邮票孔镀金工艺，可直接将芯片嵌入硬件 PCB 板中。

根据项目电压需求，姿态传感器 IVS500 工作的电压为 3.3 V，该电压供电下电流小于 25 mA，读取加速度和旋转变角，其中加速度零偏年稳定性 10mg；角速度零偏年稳性 0.5° /s。

姿态传感器 IVS500 通过 IIC 与 MCU 微处理器单元通信，连接如图 3-7 所示，为保证信号的稳定，需在 SCL、SDA 两条信号线上来 4.7 K 电阻，MCU

微处理器单元 I/O 端口需进行 IIC 模拟控制，因此 I/O 端口设置为推挽输出，

该种方式既可保证高电平输出，又可在上拉电阻的作用下对该单元起到保护作用。 21

图 3-7 姿态传感器单元原理图

3.3.5 气压高度信号采集单元设计姿态传感器 IVS500 芯片中集成了气压计，经过测试该气压计的精度太低为 50cm，所以需重新选型合适的气压传感器芯片。ZIN-34 高精度气压计模块内部集成了气压计 SPL06，并通过 STM32F031K4 该 MCU 微处理器芯片进行数据的解算，并融合了简单的滤波处理算法，直接通过串口可读取到海拔高度信号（mm）。相比姿态传感器 IVS500 芯片，气压高度信号采集芯片 ZIN-34

的精度可达到 5 cm，精度较前者提高了将近 10 倍。通过 IIC 通讯方式与 MCU

微处理器芯片进行通讯，IIC 数据读取速率最高可达 3 ms，该芯片符合姿态感知子系统的高度值获取。

气压传感器对环境的要求较高，因此在使用过程中需要格外注意：

1) 气流扰动

当芯片受到强大的气流干扰时，数据将大大下降。少量的偶尔气流干扰只会引起轻微的波动。解决方案是用高密度海绵包裹芯片，并将气压计放在气流受到较少干扰的位置。

2) 电源纹波干扰

电源纹波干扰会导致气压计出现大规模的振荡型波动。气压计是非常敏感的传感器，因此使用时必须确保电源干净。

3) 温漂

气压计模块的内部温度漂移经过特殊的补偿处理，内部温度漂移只会偶尔发生跳跃。使用时，仅需将其置于高温（> 60° C）的环境中即可。

气压高度传感器 ZIN-34 通过 IIC 与单片机通信，与单片机的连接如图 3-8

所示，在 SCL、SDA 两条信号线上不添加上拉电阻，直接与单片机 IO 口相连，

单片机 IO 模拟 IIC 设置为开漏输出（Open drain output）。

该项目通过 IIC 连接气压高度传感器和 MCU 微处理器。与 MCU 微处理器的连接如图 3-8 所示。SCL 和 SDA 的两条信号

线上没有上拉电阻，它直接连接到 MCU 微处理器的 I/O 端口，并将 I/O 模拟 IIC 信号。 22

图 3-8 气压传感器 ZIN-34

3.3.6 FLASH 存储单元设计该存储芯片使用 W25X64 芯片，该芯片尺寸小，占用的 PCB 空间小，功耗低。工作电压仅为 2.7-3.6V，工作电流约为 4 mA。W25X64 具有 32768 个可编程页面，每个页面为 256 字节，存储容量为 8 M，最多可以存储 20 年。记录原始姿态数据、修改后的数据和步数，存储方式采用分区存储，即原始数据一区，修改数据一区，步数一区。所存储的数据具有时间戳以供以后查询；数据读取方法是串行端口读取。

FLASH 存储芯片 W25X64 可支持标准的 SPI 接口，最大传输速率可达到 75 MHz。使用四线制连接：

- (1) 串行时钟引脚 CLK
- (2) 片选引脚 CS
- (3) 数据输出引脚 MISO
- (4) 数据输入引脚 MOSI

存储芯片单元硬件原理图如图 3-9 所示。

图 3-9 FLASH 存储单元原理图

3.3.7 人机交互单元设计人机交互单元主要包括 OLED 显示单元和按键控制单元。由于姿态感知子 23 系统体积较小，所以选取 0.91 寸小屏 OLED 显示单元，具备。由于姿态感应子系统的尺寸较小，因此选择了 0.91 英寸小屏幕 OLED 显示单元，具有 LCD 显示功能，工作电压为 3.3 V，分辨率为 128 * 32，并且 OLED 显示单元使用 IIC 与 MCU 微处理器单元进行通信，可显示重要信息，例如时间，电源，蓝牙，步数和攀爬方向，电路原理图如图 3-10 所示；按键控制单元采用四个按键进行控制，分别实现显示界面的上翻、下翻、确认和返回功能。

图 3-10 OLED 显示单元原理图

3.3.8 蓝牙通讯单元设计蓝牙使用具备主机模式的 HC-08 模块。此状态有三种工作模式。最高功耗模式下工作电流为 8.5 mA / 9 mA，节能模式下工作电流为 6 uA~2.6 mA。睡眠模式下工作电流为 0.4 uA / 1.6 mA。在开放的环境中，它可以实现 80 米的超长距离通信，并通过爬梯防护子系统实现远程传输，并且在不传输通信时进行低功耗处理。传输单元应该小巧，在恶劣的环境下稳定性很好。HC-08 蓝牙单元的示意图如图 3-12 所示。

图 3-12 HC-08 蓝牙单元原理图 24

3.4 爬梯防护子系统硬件设计

3.4.1 电源单元设计爬梯防护子系统中需要进行供电电压主要有：24V、5V 和 3.3V。其中直流电机、电机驱动控制板驱动电路均需 24V 供电，直流电机驱动控制单元需 5V

供电，MCU 微处理器单元、OLED 显示单元、FLASH 数据存储单元等需 3.3V

供电。鉴于直流电机的功耗在 100W 左右、额定负载下运行电流可达 6A，因此电池容量需不小于 15000mAh，并需具备电源反向保护、过电流、过电压等相关保护。考虑到锂电池的重量相对较轻，因此爬梯防护子系统采用锂电池进行供电，如图 3-12 所示。

图 3-12 聚合物锂电池爬梯防护子系统的主控制电路使用 LM2575D2T-5 芯片和 AMS1117-3.3 芯片为核心，LM2575D2T-5 芯片将 24V 降压至 5V，AMS1117-3.3 芯片将 5V 通降至 3.3 V，提供稳定电压给 MCU 微处理器单元。电池供电单元的原理图见图 3-13。

图 3-13 电池供电单元

3.4.2 MCU 微处理单元设计爬梯防护子系统主控电路选用 STM32F103C8T6 芯片。可提供充足的输入/输出 I/O 接口，实现多路数据间的通讯。如图 3-14 所示，其中通过模拟 IIC 电路信号为 OLED 显示屏单元、姿态信号采集单元实现通讯，一路 SPI 总线实现数据 FLASH 存储单元通讯，两路 USART 接口，一路给蓝牙通讯单元通信，另 25 外一路为 PC 上位机与姿态感知子系统之间的交互提供通讯。

图 3-14 MCU 单元原理图

3.4.3 时钟显示单元设计时钟显示单元使用 DS1302 芯片和 32.768 kHz 晶体振荡器作为外部时钟，该芯片与姿态感知子系统相同，原理图如图 3-15 所示，此处不过多赘述。

图 3-15 时钟显示单元原理图 26

3.4.4 低电压监测及报警单元设计低电压监测及报警单元可实时监测爬梯防护子系统的电压，并通过 OLED 显示屏进行实时显示，并在电压低于 22.2V 时触发低压报警。因此该单元具有电源低压检测、电池电量检测、低电压报警功能，如图 3-16 所示。

图 3-16 低电压检测及报警单元原理图

3.4.5 人机交互单元设计人机交互单元主要包括 OLED 显示单元和按键操作单元，其中考虑到装置体积需小巧，OLED 显示单元显示屏使用 0.96 寸，分辨率可达到 128*64，如图

3-17 所示；按键操作单元采用 4 个按键，实现显示屏界面的上翻、下翻、确认和返回等功能。通过按键可进行电机、时间、存储、通讯等配置工作，如图 3-18 所示。

图 3-17 显示单元原理图 27

图 3-18 按键单元原理图

3.4.6 蓝牙通讯单元设计蓝牙通信单元核心芯片为 HC-08，为保证通讯主动性采用主机模式。原理图如图 3-19 所示。

图 3-19 蓝牙单元原理图

3.4.7 电机驱动单元设计电机驱动单元可实现一路 24V 电机的正反转、启停、PWM 控制等功能，该控制板采用双电桥设计，具有宽电压范围、光耦隔离输入信号、欠压和隔离保护等功能，可在额定功率下保证电机正常

运转。直流电机驱动板单元如图 3-20

所示。 28

图 3-20 电机驱动单元电机驱动单元控制一路驱动电机，通过 IN1、IN2 以及使能端 ENA 的变化实现电机正反转控制、启停控制和 PWM 调速控制。电机驱动单元的控制逻辑

表如图 3-2 所示。

IN1	IN2	ENA	输出模式
0	0	×	刹车
1	1	×	悬空
1	0	PWM	正转调速
0	1	PWM	反转调速
1	0	1	全速正转
0	1	1	全速反转

表 3-2 电机驱动单元控制逻辑表

3.5 引航员安全防护装置系统硬件实现

3.5.1 硬件电路 PCB 设计基于上述系统总体硬件设计、姿态感知子系统硬件设计和爬梯防护子系统硬件设计的总体思路和框架，利用 Altium Designer 进行姿态感知子系统和爬梯防护子系统的原理图设计，并考虑到便携性、体积小等要求，绘制 PCB 电路板尺寸，电路布局以核心器件为中心进行布局和走线，确保连线无断点、电源无屏蔽干扰、高频和低频信号相互隔离，最终完成 PCB 电路板的制作，姿态感知子系统和爬梯防护子系统的硬件 PCB 如图 3-21。 29

图 3-21 PCB 设计及电路板

3.5.2 硬件电路板调试硬件电路板调试过程中，首先测试所有模块的电源电压是否稳定和正确。

测试完成后，将组件分别焊接在两个设备的电路板上。

电路板焊接完毕后一一检查是否有误焊、虚焊现象。检查完毕后，打开电源开关，测量每个单元的电压是否正常。

3.6 本章小结本章节主要分别介绍了姿态感知子系统和爬梯防护子系统的主控电路板的设计原理，通过对系统总体硬件设计、姿态感知子系统硬件和爬梯防护子系统硬件进行设计，选取合适芯片和传感器，构建了以 STM32F103C8T6 为 MCU 微处理器的核心硬件电路，并完成相应的嵌入式软件编程研究和系统调试，实现姿态信号的检测、处理和分析。

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 其中姿态感知子系统实现加速度计信号及气压传感器信号的采集；姿态信号的算法处理；爬梯防护子系统的远程动态控制；
2. 人体爬梯运动方向及步数，通过无线方式发送给爬梯防护子系统，并将姿态感知数据进行存储。通过姿态感知子系统对信号的综合判断和处理，控制爬梯防护
3. 控制结构。最后简单介绍了爬梯防护子系统的机械结构设计，主要包括安全锁紧机构设计和装置外壳设计。
4. 物理量测量精度三轴加速度 0.05 m/s2 三轴旋转角 1° 海拔高度 5 cm 电池供电电压 0.1
5. 二极管 D1 由于压差导通，BUT_TEST 引脚由前期的高电平信号瞬间拉低，MCU 微处理单元通过监测该信号
6. 电源稳压单元原理图 3.3.2 MCU 微处理单元设计 姿态感知子系统主控电路选用 STM32F103C8T6。
7. 通讯， 一路 SPI 总线实现数据 FLASH 存储单元通讯，两路 USART 接口，一路给蓝牙通讯单元通信，
8. 时间待机的需求。 图 3-5 MCU 模块原理图 3.3.3 时间显示单元设计时钟芯片选型为
9. 关机或者待机时，由于锂电池电压此时小于纽扣电池，故 CR1220 纽扣电池进行供电，
10. 经卡尔曼滤波算法计算，可以在人体运动过程中实时采集所需姿态感知信号。由于 IVS500 内置了稳压电路，
11. 采用邮票孔镀金工艺，可直接将芯片嵌入硬件 PCB 板中。 根据项目电压需求，姿态传感器 IVS500 工作的电压为 3.3 V，该电压供电下电流小于 25 mA，读取加速度和旋转角，其中加速度
12. 3-7 姿态传感器单元原理图 3.3.5 气压高度信号采集单元设计姿态传感器 IVS500 芯片中集成了气压计，经过测试该气压计的精度太低为 50cm，所以需重新
13. : 1) 气流扰动 当芯片受到强大的气流干扰时，数据将大大下降。少量的偶尔气流干扰只会引起轻微的波动。解决方案是用高密度海绵包裹芯片，并将气压计放在气流受到较少干扰的位置。

- 2) 电源纹波干扰
电源纹波干扰会导致气压计出现大规模的振荡型波动。 气压
14. 电源干净。
3) 温漂
气压计模块的内部温度漂移经过特殊的补偿处理，内部温度漂移只会
15. 3-8 气压传感器 ZIN-34
3.3.6 FLASH 存储单元设计该存储芯片使用 W25X64 芯片，该芯片尺寸小，占用的 PCB 空间小，功耗低。工作电压仅为 2.7-3.6V，工作电流约为 4 mA。W25X64 具有 32768 个可编程页面，每个页面为 256 字节，存储容量为 8 M，最多可以存储 20 年。记录原始姿态数据、修改后的数据和步数，存储方式采用分区存储，即原始数据一区，修改数据一区，步数一区。所存储的数据具有时间戳以供以后查询；数据读取
16. 存储芯片 W25X64 可支持标准的 SPI 接口，最大传输速率可达到 75 MHz。
17. 状态有三种工作模式。最高功耗模式下工作电流为 8.5 mA / 9 mA，节能模式下工作电流为 6 uA~2.6 mA。睡眠模式下工作电流为 0.4 uA / 1.6
18. 防护子系统实现远程传输，并且在不传输通信时进行低功耗处理。传输单元应该小巧，在恶略的环境下稳定性很好。HC-08 蓝牙单元的示意图如图 3-12 所示。
图 3-12 HC-08 蓝牙单元原理图
19. 电池供电单元
3.4.2 MCU 微处理单元设计爬梯防护子系统主控电路选用 STM32F103C8T6 芯片。
20. 通讯，一路 SPI 总线实现数据 FLASH 存储单元通讯，两路 USART 接口，一路给蓝牙通讯
21. MCU 单元原理图
3.4.3 时钟显示单元设计时钟显示单元使用 DS1302 芯片和 32.768 kHz 晶体振荡器作为外部时钟，
22. 所示，此处不过多赘述。
图 3-15 时钟显示单元原理图 26
3.4.4 低电压监测及报警单元设计
23. HC-08，为保证通讯主动性采用主机模式。原理图如图 3-19 所示。
图 3-19 蓝牙单元原理图
3.4.7 电机驱动单元设计电机
24. 实现电机正反转控制、启停控制和 PWM 调速控制。电机驱动单元的控制逻辑表如图
25. ENA 输出模式
0 0 × 刹车
1 1 × 悬空
1 0 PWM 正转调速
0 1 PWM 反转调速
1 0 1
26. 电路板
3.5.2 硬件电路板调试硬件电路板调试过程中，首先测试所有模块的电源电压是否稳定和正确。
测试完成后，
27. 设备的电路板上。
电路板焊接完毕后一一检查是否有误焊、虚焊现象。检查完毕后，打开电源开关，测量每个单元的电压是否正常。
3.6 本章小结本章节主要分别介绍了姿态感知子系统和爬梯防护子系统的主控电路板的设计原理，通过对系统总体硬件设、

3. 027_第3部分		总字数：9705
相似文献列表		
去除本人文献复制比：18.4%(1789)		文字复制比：18.4%(1789) 疑似剽窃观点：(0)
1	引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比对库》 - 2019-11-25	18.4% (1789) 是否引证：否
原文内容		

实现姿态信号和指令在两子系统间交互和通信功能。最后，设计了电路原理图和 PCB 线路图，并对 PCB 电路板进行焊接和调试。为后续数据采集、数据分析和系统调试等提供了硬件基础。 30

第 4 章引航员安全防护装置系统软件设计

4.1 引言基于第三章设计完成电路原理图和 PCB 电路板，使用 Keil5.0 软件环境，

采用 C 语言进行硬件电路的嵌入式软件编程，实现姿态感知子系统和爬梯防护子系统的信号采集、信号处理、姿态感知、数据显示、实时存储、无线通讯等功能。

本章的结构安排：4.2 节对引航员安全防护装置姿态感知子系统进行软件设计；4.3 节对引航员安全防护装置姿态感知子系统进行软件配置；4.4 节对引航员安全防护装置姿态感知子系统爬梯步数算法进行设计；4.5 节对引航员安全防护装置爬梯防护子系统进行软件设计；4.6 节对引航员安全防护装置爬梯防护子系统进行软件配置；4.7 节对引航员安全防护装置系统装置与上位机间通信匹配；4.8 节为本章总结。

4.2 姿态感知子系统软件设计姿态感知子系统软件采用模块化设计，按照功能分成多个单元，便于后期应用和问题查找。鉴于爬梯过程中需要实时获取人体的动态数据，因此需在中断中进行姿态判断，这也是该部分的核心技术之一，程序整体流程的配置是置

外部变量以及系统参数配置，在中断标志位触发后打开中断。

N
开始外部变量添加和配置系统参数配置系统初始化待机进入处理电量监控处理显示刷新处理是否到达显示刷新时间？

Y
图 4-1 姿态感知子系统软件系统流程图 31

定时器中断用于接收姿态感知数据，对姿态感知数据进行对应处理后，获取修正后的加速度数据，并将其最为爬梯步数判断的基本数据，该数据的精确性决定了姿态感知识别的准确性，因此该中断具有最高优先级。在 while 循环中依次执行显示屏、电量数据、存储数据的刷新工作。姿态感知子系统的软件

系统流程图见图 4-1；定时器中断的程序流程图见图 4-2。

N
Y
进入中断姿态信号接收姿态信号处理姿态信号算法检测出方向和步数？

串口发送指令FLASH存储数据返回图 4-2 定时器中断流程图按下电源启动键实现电源开机，程序先对系统参数和外部变量进行配置，

然后依次实现系统、IIC 模块、NVIC 模块、时钟模块、串口模块、ADC 模块、SPI 模块、定时器模块的初始化工作。最后程序进入 while 循环，依次实现显示、电量监控、待机处理等刷新工作。针对于较高要求的姿态感知模块，需通过定时器中断进行，定时器频率为 50Hz，以该频率实现姿态感知信号的获取、滤波处理、判断、存储和指令发送等功能。

4.3 姿态感知子系统软件配置

4.3.1 晶振配置

4.3.1.1 系统晶振MCU 微处理器芯片时钟晶振为 8MHz，通过倍频器可将系统时钟 SYSCLK 最高工作频率可达到 72 MHz。通过库函数 SetSysClockTo72（）进行配置，此 32 库自动将系统时钟倍频 9 倍，具体可通过高速外部时钟信号 HSE 将时钟设置为：

$PCLK1 = HCLK / 2 = 36M$ ， $PCLK2 = SYSCLK = 72 M$ 。

4.3.1.2 定时器晶振定时器时钟 TIMxCLK（内部时钟 CK_INT）由 APB1 预分频器分频后提供。

若 APB1 预分频系数等于 1，则频率保持不变，否则将频率乘以 2，一般情况下APB1 预分频系数为 2（ $PCLK1 = 36 M$ ），因此定时器时钟 $TIMxCLK = 72M$ 。

定时器 2 和定时器 3 设置分频值（Prescaler）都为 7199，此时定时器的频率为 10 kHz，即 10-4秒，定时器 2 的重装值设定为 199，定时器 2 的定时时间为 0.02 秒。定时器 3 的重装值设定为 999，定时器 3 的定时时间为 0.1 秒。

该项目采用 2 个定时器进行进准数据获取，两定时器的预分频器均设置为 7199，换算成的定时器的频率为 10 kHz。通过设置两个定时器中的重载值实现定时时间的变化，该项目定时器 1 计时时间为 0.02 秒，因此定时器 1 的重载值设置为 199。定时器 2 计时时间为 0.1 秒，因此定时器 2 的重载值设置为 999。

4.3.2 通讯部分配置以 ARM 为核心的 MCU 微处理器芯片在通讯方式上有 IIC，SPI 和 IO 等多种方式，在两个主控制电路之间以及两个主控制电路与上位 PC 之间采用 UART

串行通信。考虑到通信协议的保密性和稳定性，设计了一套 CRC16 校验的通信协议，该通信协议可保证接收数据的可靠性和准确性，并能够降低数据接收的容错率。通过握手指令实现两子系统的连接，连接正常后通过发送其他指令进行数据间的交互，具体协议的制定详见 4.5 和 4.6。

4.3.3 I/O 部分配置I/O 部分配置主要包括系统初始化、OLED 显示屏、FLASH 存储器、ADC

电量采集、串口通讯、姿态传感器、气压传感器通讯、定时器初始化等配置。

系统初始化配置选择一个 9 倍频率的外部晶体振荡器。显示屏通过 PA_6

和 PA_7 两个引脚的 IIC 通讯配置；姿态传感器通过 PA_4 和 PA_5 两个引脚实现 IIC 模拟通讯配置；气压传感器配置通过 PA_8 和 PA_11 两个引脚的 IIC 通讯配置；FLASH 通过四线 PA_12，PA_13，PA_14 和 PA_15 四个引脚的 SPI 时序进行配置；ADC 通过 PA_0 的 DMA 配置成第一通道；定时器 1 的中断优先级最高，中断时间为 0.02s；串行端口通过 PA_9 和 PA_10 进行配置，其波特率设定为 11500。配置后进入 while 循环。 33

4.4 姿态感知子系统爬梯步数算法设计考虑到引航员在登离船攀爬软梯运动的过程中，受外界环境和自身的影响

较大，主要在计算攀爬步数时有以下两个核心问题需要解决：

一是目前现有的姿态识别的算法主要针对人体在水平运动过程中的运动状态，例如：一段时间内的跑步、行走的距离和轨迹计算，但是对于爬梯过程的运动监测，目前还未进行相应研究。二是引航员在登离船爬梯过程中会受到大风、大浪等外界

的干扰，且外界环境的变化不尽相同，因此如何剔除或削减该部分因素对人体姿态信号的影响也是极其重要的。

4.4.1 姿态感知信号处理

4.4.1.1 姿态感知信号角度处理引航员在登离船过程中腰间始终保持笔直，方向垂直于地面，因此，姿态

感知子系统在引航员登离船爬梯过程中系于人体腰间，通过重力加速度计获取

x、y、z 三轴的加速度和角度，并将其进行归一化和分解处理，最终获得三轴加速度和角度在重力轴方向上的变化值。

图 4-3 测量坐标系与理想坐标系之间的关系 惯导系统中，姿态角有三个，分别用 θ 、 ψ 和 γ 表示，代表导航坐标到地理坐标分别转动的角度，通过矩阵坐标变换公式，我们可将引航员腰间轻微姿态变化后的坐标系转换成 z 坐标，如图 4-3 所示。

为了验证三轴角度修正的可行性，在 matlab 中进行了对三轴加速度的角度修正 根据上述思路，利用旋转的角度变化通过 matlab 软件修正三轴加速度，从而验证三轴角度修正的可行性。修成比较图如图 4-4 所示，修正后的结果跟 z 轴的运动态势相近，可见将姿态传感器放于腰间较为合理。除此之外，优化后的信号在波峰波谷部分的变化幅度较 z 轴更好，这应该是人体爬梯过程中，腰 34

间轻微变化导致幅值变化，通过角度修正后，更有利于区别爬梯过程。

图 4-4 三轴加速度修正比较波形图

4.4.1.2 姿态感知信号滤波处理通过大量数据测试和分析发现引航员爬梯过程中有 1Hz 的机械噪声信号影响，这与人体在实际爬梯过程中的速度在 1s 左右的范围相对应，该影响会造成姿态步数判断的偏差，因此需对其进行滤波处理。通过将测试数据中的信号进行频谱分析，我们发现人体爬梯的频率主要集中在 3Hz 范围，因此设计 3Hz 的低通滤波器进行数据处理。

图 4-5 爬梯姿态信号频谱通过多次比较分析，最终选取了等波纹 FIR 滤波器，频谱图见图 4-6。 -5 -3 -1 1 3 5 7 9 0

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
加速度 (米/s²)
时间 (s)
x轴 y轴 z轴三轴修正 35

图 4-6 滤波器频谱图通过等波纹FIR低通滤波器的信号处理，效果比较图见 4-7，可以清晰看出通过滤波将高频噪声滤除，姿态感知的信号曲线图变得更加平滑，可以较为清晰的看出图中引航员的运动状态为先上爬 6-9 节引航梯，在下爬 6-9 节引航梯，

但是实际上该图是上下爬梯的步数均为 6 节。图中有些波形的幅值较为不明显，

在算法中可能无法准确获取其中的步数，通过分析发现应该是外界环境的影响导致爬梯过程中人体晃动过大，导致晃动信号的频率与爬梯频率相近，从而难以剔除掉该部分的干扰信号。

图 4-7 滤波效果图 -4 -2 0 2 4 6 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24

加速度 (m/s²)
时间 (s)
滤波前滤波后 36

4.4.2 姿态感知信号经验模态分解处理如何解决外部因素对软梯晃动的影响，从而解决 4.4.1 中的问题。基于该疑问，本项目对姿态感知的信号进行了经验模态分解。

经验模态分解 (EMD) 可以对非线性和非平稳信号实现自适应信号时频信号分析和处理，并且可以消除干扰噪声和传感器信号中的外界环境因素引起人体姿态干扰信号。可以通过经验模态分解将环境恶劣变化造成的干扰信号和引航员爬梯过程中的姿态干扰信号的信息分解为不同的本征模函数 (IMF)。通过进行大量的数据测试，将收集的信号进行EMD算法处理。为更加直观的解释EMD算法，我们仍然以图 4-7 中的信号为例，并将分解后的效果在图 4-8 进行展示。

图 4-8 经验模态分解得到的各个 IMF 序列 37

根据图 4-8 中所示的EMD算法，由姿态传感器测量的滤波信号被分解为 6 个IMF信号。这 6 个IMF信号仅从图上看非常混乱，与实际运动的 6 个向上和 6 个向下爬梯信号无关。因此，通过计算每个IMF的能量比，进而更好的研究这 6 个IMF信号，计算结果见表 4-1。其中IMF1、IMF2 和IMF3 三个信号占了总能量信号的将近 90%，而后三者仅不到 10%。因此，主要分析前三者的信号而剔除后三者的信号影响。

IMF IMF1 IMF2 IMF3 IMF4 IMF5 IMF6
能量占比 35.5% 38.7% 14.0% 3.7% 3.2% 5.9%

表 4-1 IMF 能量占比为了验证IMF1，IMF2 和IMF3 的有效性，将所有三种信号进行成对叠加，结果见图 4-9。可以看出叠加信号IMF13 是一组非常混乱的叠加信号，说明

IMF1，和IMF3 相关性不大，IMF12 和IMF123 信号与滤波信号相近，也并没有较好的滤波效果。但通过叠加IMF2 和IMF3 而获得的IMF23 信号比较符合先向上爬六节软梯在向下爬六节软梯的信号。

图 4-9 IMF叠加信号效果图 38

从图 4-10 中可以分析到，原始滤波信号中存在很多紧密相接的小型波动信号，该信号若通过阈值设置无法完全进行滤除，而通过IMF23 叠加信号的处理，

将这部分信号进行了滤除，并通过比较分析，滤除后可以更加清晰的观察出人体爬梯的姿态，可见该部分信号是由于爬梯环境或人体剧烈运动导致的干扰信号，该部分信号的比例可达到 35.5%，可见引航员在登离船爬梯过程中受外界环境的影响较大，通过经验模态分解可以滤除该部分信号，对实现正确的姿态感知具有较大的意义。

图 4-10 IMF2 和 IMF3 的叠加信号虽然经验模态分解可以解决大部分外界环境干扰的影响造成的干扰信号，

但是由于引航员在爬梯过程中腿部用力程度不同，会导致人体感知信号的幅度不尽相同，这是通过经验模态分解无法进行分析和比较的。除此之外，经验模态算法无法判断出引航员在进行爬梯过程中何时从上爬梯转变成下爬梯，这两个问题也是亟

需进行解决的重点和难点。

4.4.3 姿态感知方向步数判断算法通过前期获得的滤波和经验模态分解处理后的加速度值，基于连续点间的比较和分析，判断爬梯过程中的加速度的峰值，从而获取爬梯步数。 39

4.4.3.1 方向判断流程上升和下降方向的确定是通过气压计 ZIN-34 测得的气压数据来实现的。根据人体运动状态和外界环境的影响，进行大量数据测试和比对后，确定的流程图见 4-11，判断准则如下：

(1)加速度变化 0.03 m/s²且速度变化 3mm/s。

(2)速度变化 30 mm/s。

(3)速度由单位时间的高度差获取。

判断标准一：由于外界等特殊仅进行判断速度可能导致爬梯步数和爬梯方向不一致，因此通过加速度和速度变化的结合避免该问题；判断标准二：设定气压传感器采集频率为 10 Hz，人体在爬一节软梯的时间为 1s 左右，一节软梯

30-35mm，因此人体爬梯过程的移动速度约为 0.3 m / s，达到该阈值进行引航

员爬梯方向的判断。

开始加速度增加0.03m/s²

且速度增加3mm/s?

速度增加30mm/s?

向上运动加速度减小0.03m/s²

且速度减少3mm/s

速度减少30mm/s?

向下运动

结束

NN

YY

Y Y

N

图 4-11 方向判断流程图

4.4.3.2 步数判断算法整体流程人体在爬梯过程中在蹬梯瞬间受力增大，然后逐渐变小，因此在进行步数判断算法中爬一节软梯过程是先加速度增大在加速度减小，类似于正弦波形，

因此如何判断好运动波形的峰谷，就可以判断出引航员爬梯的步数。

由于蹬梯受力的大小不同，而致使波形的峰谷大小也不尽相同，主要分为大、中、小三种波形。考虑到引航员在爬梯的第一步是在船上，此时地面较为坚硬且距离梯子的距离较小，因此第一步设置为较小阈值，且加速度为正数， 40

先进行波峰发的判断；反之，在引航员下梯过程中进行波谷判断。

在进行姿态步数判断过程中，先判断第一步，该步阈值为特定阈值，上述

已进行说明，此处不再赘述。判断完之后，在进行其他步数判断，此时使用常

规阈值，流程为先判断上梯还是下梯，在进行峰谷寻找，并实时将寻找的峰谷进行记录和替代，用于步数流程识别。

在进行判断是否爬梯一步时，同时采用三种判断依据，第一是：峰谷差即每个周期内波峰减去波谷的数值，第二是：点数差即两个相邻峰或谷之间的点数值，也可称为时间；第三是：高度差即前后气压计获取的高度值差。

开始连续取50个加速度，且 (max-min) 小于0.35m/s², 进行方向判断 (dir=1)

是否爬第一步，是则进行

特殊化阈值处理

dir==1

波峰程序处理波谷程序处理有一个波峰和一个波谷 (1步)

行动方向与记录方向是否一致，不

一致则key_dir=-key_dir

结束

Y

N

图 4-12 姿态步数判断流程

4.4.3.3 峰谷判断流程在判断峰谷的过程中先找到拐点。找到后将其与先前的峰谷相减后，将所得结果与设置的阈值进行差值比较。如果阈值定义为小波则自动忽略，阈值判 41

断定义为大波则将计入，阈值判断定义为中波则执行步数寻找程序，并进一步进行比较判断，流程图如图 4-13 所示。

存储波峰值波峰标志位+1

找波峰标志位置0

是否为拐点?

(波谷-波峰)介于中波阈值与大波阈值之间第一步?

(原始波谷值-当前波谷值)>

高度阈值?

(波谷-波峰)>

大波阈值?

结束

开始

Y

Y
Y
Y
Y
N
N
N
N
N
N

图 4-13 波峰寻找流程图

4.4.3.4 步数判断流程在进行步数判断流程中，分为向上爬梯和向下爬梯两部分，在分析向上爬梯过程中，找到大波的峰谷、中波波峰和大波波谷后，自动确认为爬梯一步，

若找到中波波峰、中波波谷和大波波峰，就进行下一步处理，及对该部分的数值进行积分，获取面积比较判断是否爬梯一步。在分析向下爬梯过程中，找到大波波峰、大波波谷或中波波谷时，判定为爬梯一步，若找到中波波峰、大波波谷和中波波峰，就进行下一步处理，即气压高度差阈值判定，符合要求则确认为一步。 42

开始是否爬梯？

大波波谷或中波波峰且大波波谷大波波峰或大波波峰且中波波谷爬梯+1

标志位清0

中波波峰或大波波峰且中波波谷中波波峰或中波波峰且大波波谷爬梯+1

标志位清0

计算气压高度差气压高度差>阈值爬梯+1

标志位清0

爬梯+1

标志位清0

结束计算气压高度差

气压高度差>阈值

Y
Y
Y
Y
Y
Y
Y
Y
N
N
N
N N
N
N

图 4-14 步数判断流程

4.4.3.5 更新峰谷流程在进行峰谷更新过程中，由于程序进行数据采集的相对延迟性，因此在峰谷寻找时可能会出现滞后现象，所以在找寻最新的峰谷时要实时更新原始的峰谷值。例如：若找到新的峰值，则在找谷值前先把最新的峰值存储记录，然后进行谷值寻找，以免受到影响，流程图见 4-15。 43

开始谷值>=当前数据？

更新谷值更新最小值更新点数位置大波波谷？

执行步数判断？

波谷标志位+1

更新中波气压差记为一步？

波峰标志位+1

波谷标志位+1

中波计数清零

结束

Y
Y
Y
Y
N
N
N
N

图 4-15 更新峰谷流程

4.5 爬梯防护子系统软件设计爬梯防护子系统软件灾进行编程过程中同样按照模块化思想进行处理，分为多个不同功能单元。程序的总体流程先进行外部变量和参数的配置，在执行中断配置。通过不停执行串口中断而获得姿态感知子系统发送的命令，并控制直流电动机运动，从而实现自动爬梯运动。在 while 循环中，执行显示屏和按键等刷新功能，该部分程序流程图如图 4-16 所示。 44

开始外部变量和系统参数配置系统初始化显示屏和按键刷新图 4-16 爬梯防护子系统软件系统流程图串口中断函数中，通过接收姿态感知子系统指令并判断上爬软梯还是下爬软梯，若上爬软梯，指令驱动打开定时器 2，驱动电机正向运动，此时爬梯防护子系统沿着扶手绳向上爬指定时间；若下爬软梯，则指令驱动打开定时器 3，

驱动电机反向运动，此时爬梯防护子系统沿着扶手绳向下爬指定时间。

进入中断清除中断标志位接收指令接收两次？

帧头判断？

打开定时器

返回

Y

Y

N

N

图 4-17 串口中断流程 45

进入中断清除中断标志位电机停止运动关闭定时器2和3

返回图 4-18 定时器 2 和 3 中断流程

4.6 爬梯防护子系统软件配置爬梯防护子系统的软件无线通讯和晶振部分与姿态感知子系统的相同，此处不再进行详细赘述。

4.6.1 参数部分配置为保证爬梯防护子系统运行正常和便于控制，先在主程序中配置相关参数以及对应的初始化设置，主要包括：系统配置、中断函数、OLED 显示模块、串口通讯模块、姿态感知模块、数据存储模块、电量采集模块以及定时器等配置。

系统初始化配置选择一个 9 倍频率的外部晶体振荡器。显示屏通过 PB_11

和 PB_12 两个引脚的 IIC 通讯配置；姿态传感器通过 PB_4 和 PB_5 两个引脚实现 IIC 模拟通讯配置；FLASH 通过四线 PA_12, PA_13, PA_14 和 PA_15 四个引脚的 SPI 时序进行配置；ADC 通过 PA_0 的 DMA 配置成第一通道；定时器共配置三个，一路进行姿态感知信号指令的接收，另外两路用于控制电机正向和反向运行的时间 s；串行端口通过 PA_9 和 PA_10 进行配置，其波特率设定为 11500。配置后进入 while 循环。

4.7 装置与上位机间通信协议考虑到无线通讯间数据的准确接收和稳定处理等因素，姿态感知子系统和爬梯防护子系统分别制定了对应的通信协议，以便于上位机进行人机交互和控制指令的下发。 46

4.7.1 姿态感知子系统与上位机间通信协议姿态感知子系统与上位机通信采用串口通信方式，如需进行通信，首先要进行连接检测，发送相应指令等待接收，接收到正确指令后表明通讯正常，可进行相应参数配置。上位机下发指令到姿态感知子系统上，系统接收到正确指令后，按照指令格式返回对应配置或查询的指令信息。

协议指令采用帧头和帧尾协同判断的结构，降低容错率，其中帧头为 1 位，

帧尾为 4 位；指令内容采用 16 进制表示，格式见表 4-2。

指令 FC XX XX XX ... XX EE FC FF FF

定义起始帧指令指令参数结束帧表 4-2 PC 上位机与姿态感知子系统通信格式

4.7.1.1 握手指令定义起始帧指令指令参数结束帧发送 FC 01 × EE FC FF FF

接收 FC 55 × EE FC FF FF

表 4-3 PC 上位机与姿态感知子系统握手指令格式握手指令用于确定实现姿态感知子系统与上位机是否正常建立联系。若上位机发送指令后并接受到 55 则表示握手成功。

4.7.1.2 查询指令PC 上位机可以通过查询指令读取姿态感知子系统下位机的系统时间、当前电量值、串口波特率、爬行步数、仪器姿态判断参数值。指令内容如表 4-4 所示。

定义需求起始帧指令指令参数结束帧系统时间发送 FC 02 × EE FC FF FF

接收 FC F2 Year Month Day Hour Min EE FC FF FF

实时电量发送 FC F3 × EE FC FF FF

接收 FC 03 BatteryL BatteryH EE FC FF FF

串口波特率发送 FC 04 UART1 EE FC FF FF

接收 FC F4 Baud1 Baud2 Baud3 EE FC FF FF

爬梯发送 FC 05 × EE FC FF FF 47

步数接收 FC F5 Step EE FC FF FF

表 4-4 姿态感知子系统查询指令

4.7.1.3 设置指令PC 主机通过设置指令来更改姿态感应子系统的波特率、时间，待机模式、出厂设置等。指令内容如表 4-5 所示。

定义需求起始帧指令指令参数结束帧波特率值发送 FC 12 UART Baud1 Baud2 Baud3 EE FC FF FF

接收 FC A2 Sta EE FC FF FF

系统时间发送 FC 13 Hour Min EE FC FF FF

接收 FC A3 Sta EE FC FF FF

待机模式进入时间发送 FC 15 Sec0 Sec1 EE FC FF FF

接收 FC A5 Sec0 Sec1 EE FC FF FF

恢复出厂设定发送 FC 16 Res EE FC FF FF

接收 FC A6 Sta EE FC FF FF

表 4-5 姿态感知子系统设置指令

4.7.2 爬梯防护子系统与上位机之间的通信协议爬梯防护子系统与上位机通信采用串口通信方式，如需进行通信，首先要进行连接检测，发送相应指令等待接收，接收到正确指令后表明通讯正常，可进行相应参数配置。

指 标	
疑似剽窃文字表述	
1.	功能。最后，设计了电路原理图和 PCB 线路图，并对 PCB 电路板进行焊接和调试。为后续数据采集、数据分析和系统调试等提供了硬件基础。 30 第 4 章
2.	低通滤波器进行数据处理。 图 4-5 爬梯姿态信号频谱通过多次比较分析，最终选取了等波纹 FIR 滤波器，
3.	4.3.1 方向判断流程上升和下降方向的确定是通过气压计 ZIN-34 测得的气压数据来实现
4.	步数流程识别。 在进行判断是否爬梯一步时，同时采用三种判断依据，第一是：峰谷差即每个周期内波峰减去波谷的数值，第二是：点数
5.	指令定义起始帧指令指令参数结束帧发送 FC 01 × EE FC FF FF
6.	表示握手成功。 4.7.1.2 查询指令PC 上位机可以通过查询指令读取姿态感知子系统下位机的系统时间、当前电量值、串口波特率、爬行步数、仪器姿态判断参数值。指令内容如表 4-4 所示
7.	指令指令参数结束帧系统时间发送 FC 02 × EE FC FF FF 接收 FC F2 Year Month Day Hour Min EE FC FF FF 实时电量发送 FC F3 × EE FC FF FF 接收 FC 03 BatteryL BatteryH EE FC FF FF 串口波特率发送 FC 04 UART1 EE FC FF FF 接收 FC F4 Baud1 Baud2 Baud3 EE FC FF FF 爬梯发送 FC 05 × EE FC FF FF 47 步数接收 FC F5 Step EE FC FF F
8.	指令指令参数结束帧波特率值发送 FC 12 UART Baud1 Baud2 Baud3 EE FC FF FF 接收 FC A2 Sta EE FC FF FF 系统时间发送 FC 13 Hour Min EE FC FF FF 接收 FC A3 Sta EE FC FF FF 待机模式进入时间发送 FC 15 Sec0 Sec1 EE FC FF FF 接收 FC A5 Sec0 Sec1 EE FC FF FF 恢复出厂设定发送 FC 16 Res EE FC FF FF 接收 FC A6 Sta EE FC FF F

4. 027_第4部分		总字数：9412
相似文献列表		
去除本人文献复制比：16.6%(1561) 文字复制比：16.6%(1561) 疑似剽窃观点：(0)		
1	引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比对库》- 2019-11-25	16.0% (1509) 是否引证：否
2	S2038101429_张越_引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比对库》- 2019-11-24	16.0% (1509) 是否引证：否
3	201911050050071758_张越_引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比对库》- 2019-11-05	16.0% (1508) 是否引证：否
4	201911042219471708_张越_引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比对库》- 2019-11-04	16.0% (1508) 是否引证：否
5	引航员登离船安全防护系统的研制 张越 - 《学术论文联合比对库》- 2019-10-29	14.4% (1352) 是否引证：否

原文内容

上位机下发指令到爬梯防护子系统上，系统接收到正确指令后，按照指令格式返回对应配置或查询的指令信息。协议采用 CRC16 校验格式，起始帧为：FC，两位指令位，三位数据位，两位 CRC 校验位，发送和接收指令均采用 16 进制表示和读取，具体指令格式见表 4-6

指令 FC XX XX XX XX XX XX XX

定义起始位指令 H 指令 L 数据 H 数据 M 数据 L CRCH CRCL

表 4-6 PC 上位机与爬梯防护子系统通信命令格式

4.7.2.1 握手指令定义起始位指令 H 指令 L 数据 H 数据 M 数据 L CRCH CRCL

发送 FC 01 00 00 00 00 FC 48

接收 FC 55 00 00 00 00 × ×

表 4-7 爬梯防护子系统握手指令格式握手指令用于确定实现爬梯防护子系统与上位机是否正常建立联系。若上位机发送指令后并接收到 55 则表示握手成功。

4.7.2.2 查询指令PC 上位计算机通过查询指令读取姿态感知子系统的时间、实时电量、波特率、占空比，对应的指令内容见表 4-8。

定义需求起始帧指令 H 指令 L 数据 H 数据 M 数据 L CRCH CRCL

时间发送 FC 02 00 00 00 00 FC 6D

接收 FC F2 00 Hour Min Sec × ×

实时电量发送 FC 03 00 00 00 00 3C 50

接收 FC F3 00 00 ADCH ADCL × ×

串口波特率发送 FC 04 00 00 00 00 FC E5

接收 FC F4 00 BaudH BaudM BaudL × ×

电机占空比发送 FC 05 00 00 00 00 3C D8

接收 FC F5 00 00 SpdH SpdL × ×

表 4-8 爬梯防护子系统设置指令格式

4.7.2.3 设置指令PC 上位机可以通过设置指令更改爬梯防护子系统的波特率值、系统时间、电机占空比，以及恢复出厂设定。其指令内容如表 4-9 所示。

定义需求起始帧指令 H 指令 L 数据 H 数据 M 数据 L CRCH CRCL

时间发送 FC A1 00 Hour Min Sec XX XX

接收 FC E1 00 Hour Min Sec XX XX

发送 FC A1 00 Hour Min Sec XX XX

接收 FC E1 01 Hour Min Sec XX XX

串口波特率发送 FC A2 STA1 00 00 00 XX XX

接收 FC E2 00 00 00 00 XX XX

发送 FC A2 STA1 00 00 00 XX XX 49

接收 FC E2 01 00 00 00 XX XX

电机占空比发送 FC A3 STA2 00 00 00 XX XX

接收 FC E3 00 00 00 00 XX XX

发送 FC A3 STA2 00 00 00 XX XX

接收 FC E3 01 00 00 00 XX XX

表 4-9 爬梯防护子系统设置指令格式

4.8 本章小结本章主要内容是针对引航员安全防护装置系统软件进行设计，分别从姿态感知子系统和爬梯防护子系统两个方面进行阐述。姿态感知子系统主要包括：系统软件配置和爬梯步数算法设计，其中的核心内容是通过滤波和方向修正以及经验模态分析对人体姿态步数信号的处理，更加准确的表现出人体的姿态，其次还有对运动方向的判断，正确区分出上梯和下梯，从而完成整个爬梯过程中的动态识别。爬梯防护子系统主要介绍了相关参数的配置。最后通过设置对应的协议实现姿态感知子系统和爬梯防护子系统与上位机间的交互通信，从而为下一步整体系统的测试奠定了坚实的技术基础。 50

第 5 章 系统测试与验证

5.1 引言根据前期的设计，完成对应的姿态感知子系统和爬梯防护子系统的软硬件建设，并针对相应指标进行测试，在根据测试结果进行优化和处理，最终达到符合要求的引航员安全防护装置系统软件设计。

本章的结构安排：5.2 节对引航员安全防护装置系统软件进行调试与验证；

5.3 节对引航员安全防护装置爬梯防护子系统机械装置的安全性进行测试；5.4

节对引航员安全防护装置姿态感知子系统和爬梯防护子系统样机进行测试；5.5

节为本章总结。

5.2 系统算法测试与验证

5.2.1 姿态感知识别算法测试与验证姿态感知识别算法主要包括姿态感知信号角度修正和经验模态分解两大核心数据处理方法，以及相关步数判断方法的实现。为便于算法的验证和测试，

将现场实地爬梯的测试数据在 matlab 中编写算法，进行步数判断。因主要识别人体姿态信号，所以测试样板采用姿态感知子系统为基础，搭建对应的 MCU

微处理器、姿态传感器 IVS500 模块以及气压传感器 ZIN-34 模块进行数据读取，

并将读取的数据通过蓝牙发送至上位机，如图 5-1 所示。

图 5-1 姿态信号采集和发送装置上位机通过串口获取实时采集的姿态感知信号，并按照指令格式保存在 excel 中，便于后期 matlab 调用。

将编写好的算法程序导入 matlab 中，并将测试的数据导入，对原始信号进行滤波处理，并根据波形效果选取最优的滤波器。由于本次采用的 MCU 微处理器为 STM32，其包含相应的 FIR 滤波器函数 fir_16by16_stm32()，用户可根据实际需求选取不同的滤波器阶数进行滤波，但是滤波器阶数只能选取 4 的倍数。基于该条件，在 matlab 中设置好滤波器截止频率后，依次进行了 16/32/48/64

阶的 FIR 滤波算法处理，如图 5-2 所示。可见较高的阶数滤波效果较好，波形也较为平滑，但阶数较高，也会占用过多 MCU 微处理器的内存，在采样频率较高的条件下会影响采样精度。因此，综合考虑以上几点因素，选取 48 阶的等波纹滤波器进行滤波处理。

图 5-2 在 3Hz 截止频率下不同滤波器阶数的滤波信号波形

通过角度和经验模态分解后，利用 4.3 节中介绍的算法对姿态感知信号在 MCU 微处理器上进行验证，选取 5 位引航员进行登离船爬梯运动，获取处理后的数据，并判断实际爬梯数和软件算法计算出的爬梯数的误差，结果如表 5-1 所示。

通过图表发现仅利用姿态感知识别存在一定的误差，但是也可以看出 IVS500 芯片在加速度的精度上还是较为精确的。

引航员序号实际爬梯数算法爬梯数误差率 1 48 40 16.7% 2 48 42 12.5% 52 3 48 39 18.8% 4 48 45 6.3% 5 48 46 4.2%

表 5-1 实际爬梯与算法判断爬梯数对比如图 5-3 所示，通过对 1 号引航员爬梯过程进行分析，可以看出总共爬梯 6 步，而算法判断出 7 步，主要原因是外界环境较为恶劣导致引航员腰间抖动多大，导致杂波较大，从而误判断出一步，因此，需要通过加入气压计进行高度差判断来解决该问题。

图 5-3 爬梯姿态加速度波形图

5.2.2 气压感知识别算法测试与验证同样在相同的试验环境和场地下，采用 5.2.1 中的方式捕获气压高度值，从而验证气压计的精度。

搭建对应的 MCU 微处理器、姿态传感器 IVS500 模块以及气压传感器 ZIN-34 模块进行数据读取，并将读取的数据通过蓝牙发送至上位机，考虑到气压计受外界气流环境的影响较大，因此将气压计 ZIN-34 使用高密度海绵进行单独包裹并置于密闭容器内，通过蓝牙获取实时远处传输的数据，然后分三组进行相应测试：

(1) 试验前，先将姿态感知子系统系于腰间，然后分别爬 1/2/3 节软梯，每次爬梯测试次数为 5 次，通过蓝牙模块读取气压计获取的高度值；

(2) 试验前，先将姿态感知子系统系于腰间，然后采用先上爬 3 节在下爬 3 节软梯的方式进行运动，每次爬梯测试次数为 5 次，通过蓝牙模块读取气压计 53 获取的高度值；

(3) 试验前，先将姿态感知子系统系于腰间，然后剧烈摇动软梯模拟海上恶劣环境的影响，通过蓝牙模块读取气压计获取的高度值；

实际距离内容第一组第二组第三组第四组第五组平均值平均误差

50cm

一阶上 48.5 49.5 48.7 48.4 51.2 49.26 -0.74

一阶下 49.8 49.2 48.6 48 49.3 48.98 -1.02

82cm

两阶上 81.2 81.7 81.5 81.8 81.2 81.48 -0.52

两阶下 83.2 80.7 81.3 80.2 81.1 81.3 -0.7

118cm

三阶上 119.3 118.6 117.2 117.6 117.2 117.98 -0.02

三阶下 117.1 117.8 117.8 117.6 117.4 117.54 -0.46

表 5-2 引航员分别爬梯 1/2/3 阶软梯第一组测试条件下的测试结果通过表 5-2 可知，爬梯误差精度可以控制在 1cm 以内，可见通过高度值计算爬梯高度的精度还是较高的，通过高度值的变化来修正姿态感知信号判断出的步数能够更精确的获取爬梯的步数。通过仔细观察表格数据可发现，向上爬梯的数据精度要高于向下爬梯的数据精度，通过分析可知造成该问题的主要因素是爬梯过程人体姿态与地面存在一定的倾角，

这造成了高度值的偏差，但是这部分偏差值相对固定，因此对步数判断的精度无较大影响，因为我们可以较为清晰的区分出人体是否进行爬梯运动，如图 5-4

所示。

图 5-4 模拟试验爬梯一阶的气压高度曲线 82.4 82.6 82.8 83 83.2 83.4 83.6 0 1 2 3 4

海拔高度 (

cm)

时间 (s)

系列1 系列2 系列3 系列4 系列5 54

第二组测试条件下的测试结果：测试前将气压传感器系挂于人体腰间，实时记录先上爬 3 节在下爬 3 节软梯高度值的变化情况，通过测试数据我们可以发现，该情况下未爬梯前和爬梯后的高度值差很小，最大 7.0cm，最小仅有 0.5cm，这个差值精度也符合 ZIN-34 的精度值，可用该值进行步数的修正处理。

通过将高度值进行微分处理，获得该点位的瞬时速度，我们可以发现向上爬梯速度为正，且速度先逐渐增大在逐渐变小，与蹬梯用力过程一致；相反向下爬梯速度为负，且速度也是先大后小，如图 5-5 所示。

图 5-5 模拟试验先上后下爬梯 3 阶的气压高度曲线和微分曲线第三组测试条件下的测试结果：该项测试通过模拟外界恶劣环境对爬梯过程的影响，测试结果如图 5-6 所示。其中蓝线为向上爬梯 3 步后在进行晃动，

模拟海上风浪环境，红线为站在梯子上一直晃动，通过比较发现两者的区别还是很明显的，蓝线的速度变化在 50 以内，而我们爬梯的实际速度也远小于 50，

因此可以进行区分海上风浪和实际爬梯过程。经过 matlab 进行初步验证，选取合适的阈值后，可以正确的区分出运动的方向。

图 5-6 模拟海上恶劣环境气压高度变化 86.5 87 87.5 88 88.5 0 1 2 3 4 5 6 7 8

海拔高度 (

m)

时间（秒）
系列1 系列2 系列3 系列4 系列5 87 87.2 87.4 87.6 87.8 88 88.2 88.4 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
海拔高度（
m）

时间（秒） 55

由于前期对气压计进行了密封处理，并加上了海绵防止气流扰动，因此气压计采集信号较为精确，也不存在杂波干扰的影响，整体的气压信号波形较为光滑，如图 5-7 所示。

图 5-7 引航员爬梯气压高度波形图通过 matlab 编写相关算法对引航员爬梯方向进行判断。测试结果显示，气压计可以很精确地区分出引航员登离船爬梯过程的方向变化，并且方向判断可以在步数确定前就先行判断出来，避免延迟带来的影响。

5.2.3 爬梯运动方向算法测试与验证爬梯运动方向算法主要进行爬梯过程中步数方向的判断，通过将修正后的加速度信号和气压差进行结合，并通过 4.4 中的算法处理，滤除外界环境和人体运动过程中的抖动的的影响，测试结果如图 5-8 所示。

图 5-8 姿态判断程序 GUI 界面 116.5 117 117.5 118 118.5 119 0 5 10 15 20 25

海拔高度（

m）

时间（秒） 56

总共进行了 15 组实际爬梯测试，将所获得的数据按照指定格式保存好，应用 matlab 进行测试，测试结果发现，通过姿态感知信号方向处理和经验模态分析进行数据处理，如表 5-3 所示。

数据序号 实际向上爬梯数算法识别向上数实际向下爬梯步数算法识别向上步数误差率

1	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
2	6 阶	6 阶	6 阶	7 阶	8.3%
3	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
4	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
5	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
6	6 阶	6 阶	6 阶	5 阶	8.3%
7	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
8	6 阶	6 阶	6 阶	5 阶	8.3%
9	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
10	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
11	6 阶	6 阶	6 阶	7 阶	8.3%
12	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
13	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
14	6 阶	6 阶	6 阶	7 阶	8.3%
15	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%

表 5-3 引航员实际与算法识别爬梯数对比经过对照发现，仅仅采用姿态感知信号处理和经验模态分解算出的步数精确率可达到并通过气压计高度差进行修正的结果比较准确可达到 97.24%，想比于直接识别加速度计的算法精度上提高了近 15%。

利用上述算法并加入气压计的高度差修正，依然对该 15 组数据进行数据处理，测试结果见表 5-4。

数据序号 实际向上爬梯数算法识别向上数实际向下爬梯步数算法识别向上步数误差率

1	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
2	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
3	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0% 57
4	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
5	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
6	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
7	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
8	6 阶	6 阶	6 阶	7 阶	8.3%
9	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
10	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
11	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
12	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
13	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
14	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%
15	6 阶	6 阶	6 阶	6 阶	0%

表 5-4 引航员实际与算法爬梯步数对比通过分析上述 15 组数据，发现通过气压高度差该因子的加入不仅可以 100% 准确的判断出引航员登离船爬梯过程中的运动方向，还将姿态识别的正确率提高到 99.45%。因此气压高度差信号对姿态识别的算法效果非常显著。从下图可以看到，仅有第八组的信号判断有所偏差，将他的 IMF 曲线展示如图 5-10 和

5-11 所示。

图 5-10 第八组效果图 -8.5 -6.5 -4.5 -2.5 -0.5 1.5 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22

加速度（

m

/s²）

时间（s） 58

图 5-11 第八组的经验模态分析图

5.3 系统机械运动与防护测试在爬梯防护子系统上配上重物模拟引航员坠海过程，测试爬梯防护子系统的承重性能。经调查引航员的体重一般都在 100 kg 以内，所以测试从 100 kg

到 200 kg 重物下落半米的爬梯防护子系统承重性能。测试结构如表 5-5 所示。

重物重量下滑距离(cm)

1 组 2 组 3 组 4 组 5 组 6 组 7 组 8 组 9 组 10 组

100 kg 3.1 2.7 2.8 3.5 2.7 2.9 3.0 3.3 3.4 3.2

120 kg 3.0 2.9 3.5 3.0 3.3 2.8 3.1 3.7 3.2 3.5

140 kg 2.9 3.6 3.3 3.1 3.4 2.9 3.0 2.7 3.5 3.2

160 kg 4.0 3.1 3.2 3.1 3.4 2.9 2.8 3.7 3.6 3.1

180 kg 3.8 4.1 4.0 3.7 3.1 3.0 2.7 2.9 3.3 3.6

200 kg 3.4 3.6 4.3 3.4 3.5 4.1 4.0 3.2 3.7 2.9

表 5-5 爬梯防护子系统承重性从表中测试结果可以看出，爬梯防护子系统机械锁紧系统设计安全强度符合要求。

5.4 系统样机测试本次研究基于前期的硬件设计、机械设计和软件算法处理，最终将这三部 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22

加速度 (

m

/s²)

时间(s) 59

分进行整合，最终完成一套引航员安全防护装置系统，具体包括姿态感知子系统一套和爬梯防护子系统一套。实物图见图 5-12。

图 5-12 引航员安全防护装置系统如图 5-13 所示，姿态感知子系统系在引航员腰间，在引航员登离船过程中该子系统可对人体姿态进行实时姿态监控、姿态识别、步数判断和防坠判断，

并将相关姿态信息无线传送给爬绳防护子系统，实爬绳防护子系统的远程控制；

爬绳防护子系统可对人体进行自动跟踪、全程防护和坠落保护，该子系统通过接收姿态感知子系统的相关信息判断设备的运动状态和是否需要保护。

图 5-13 现场模拟测试 60

若人体发生坠落风险时，该装置通过机械锁紧方式对引航员进行坠落安全保护，以防发生坠落事故。如图 5-14 所示，通过真人实际测试，爬梯防护子系统实现了引航员在坠落时的人身防护。

图 5-14 防坠落模拟测试

5.5 本章小结本章通过根据前章节的内容，进行系统的测试，主要包括系统算法测试与验证、系统机械运动与防护测试以及系统样机整机测试三个方面。通过测试结果表明，姿态感知信号角度修正和经验模态分解算法可以进行引航员姿态感知识别，但是还存在步数判断错误的问题，通过加入气压计高度差修正，不仅可以准确的判断出人体爬梯过程中运动的方向，还将人体姿态感知步数判断的精度提高到 99.45%，基本实现了 100%的步数识别。另外，通过对整机坠落防护、

攀爬扶手绳等完整性试验，也证明了引航员安全防护系统实现了引航员登离船过程中的动态防护，并在人体坠落时实现即时保护。 61

第 6 章结论与展望

6.1 总结本文旨在研制一套引航员安全防护装置系统，该系统解决引航员登离船过程中风险高但无有效安全防护的问题，该系统可实现引航员登离船过程中的自动化安全防护，适用于海上引航员登离船作业时的人体安全保护。它携带方便、操作简便，能够在引航员坠落瞬间给予人体双重防护。该系统主要包括姿态感知子系统和爬梯防护子系统，完成了各个部分的硬件设计、机械结构设计和软件算法设计，最终研制成功样机一套，满足课题需求。

在进行整体项目推动的过程中，首先制定引航员安全防护系统总体方案，

包括系统总体方案设计、姿态感知子系统设计、爬梯防护子系统设计。其次，

根据总体方案设计完成系统总体硬件设计、姿态感知子系统硬件设计、爬梯防护子系统硬件设计，并绘制 PCB 原理图和电路板。再次，进行引航员安全防护系统软件设计，主要包括姿态感知子系统软件设计和配置、姿态感知子系统爬梯步数算法设计、爬梯防护子系统软件设计和配置、装置和上位机通信协议等。

最后根据以上内容进行系统测试和验证，主要包括系统算法测试与验证、系统机械运动与防护测试、系统样机测试等。最终研制成一套引航员安全防护系统，

对该领域的安全防护具有一定的社会意义。

课题研制的引航员登离船安全防护系统具有人体实时姿态监测与识别、全程自动跟踪与防护等特点，具有较高的智能化、便捷性。课题主要研究内容如下所示：

(1) 查阅相关资料并亲自前往引航协会现场观察引航员登离船作业，编写调研报告，并根据调研报告制定初步的引航员登离船安全防护系统的总体方案以及确定技术路线可行性。编写系统总体设计方案，确定通过姿态感知子系统和爬梯防护子系统两部分共同组建成引航员登离船安全防护装置系统；

(2) 编制引航员安全防护装置系统总体方案设计，并针对现实情况设计姿态感知子系统和爬梯防护子系统等；

(3) 进行引航员安全防护装置系统硬件设计，主要包括电源单元、MCU 微处理器单元、时间显示单元、姿态信号采集单元、气压高度信号采集单元、FLASH 存储单元、人机交互单元和蓝牙通讯单元等； 62

(4) 进行引航员安全防护装置系统软件设计，主要进行姿态感知信号角度处理、滤波处理、经验模态分解，爬梯防护系统软件设计，整体系统通讯配置等；

(5) 进行系统测试和验证，算法上主要进行姿态感知识别、气压感知识别、

爬梯运动方向的测试与验证,机械结构上主要对系统机械运动和防护进行测试与验证,最后对系统样机进行测试。经测试各项指标符合要求,满足引航员登离船过程中爬梯防护的需求。

6.2 展望本课题研制成一套引航员登离船安全防护装置系统,实现了引航员登离船爬梯过程中的人体安全防护。鉴于本人水平有限以及时间关系,还需以下几方面进行完善和提高:

(1)如何确保引航员单手实现爬梯防护子系统穿装扶手绳问题需要进一步优化;

(2)爬梯姿态感知步数精确率较高,但如何在判断步数偏差上对爬梯防护子系统的运动距离进行修正还需解决。

(3)目前测试仅针对于模拟的引航员登离船过程,后期需进行现场实际应用, **并通过多次试验改进,研制出便携、智能的引航员登离船安全防护装置系统。** 63

参考文献

- [1] 杨昆瓚,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.
- [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.
- [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.
- [3] 陆悦铭,詹海东,金佳乐等.首届"引航装备、引航员登离船安全研讨会"在沪圆满落幕[J].航海,2018,238(6):4-5.
- [4] 王立刚,魏蕾.天津港引航风险及防控措施研究[J].天津航海,2017(4):8-10.
- [5] 庄瑜.引航员登离轮的安全风险及对策[J].航海技术,2019(2):75-76,79.
- [6] 席永涛,肖浩,张阳等.引航员风险认知对安全行为的影响路径[J].中国航海,2005.
- [7] Yurtman Aras, Barshan Billur. Activity Recognition Invariant to Sensor Orientation with Wearable Motion Sensors. [J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2017, 17(8).
- [8] 强家辉,张为公,王东.基于足底压力的人体姿态检测和行为分析方法[J].测控技术,2018,1(1):4-9.
- [9] Lee J A, Williams S M, Brown D D et al. Concurrent validation of the Actigraph gt3x+, Polar Active accelerometer, Omron HJ-720 and Yamax Digiwalker SW-701 pedometer step counts in lab-based and free-living settings[J]. J Sports Sci, 2015, 33(10):991-1000.
- [10] 吴峰,王向军,汤其剑.基于数字调节方法的 MEMS 陀螺零位补偿技术研究[J].传感技术学报,2012,25(12):64
- [11] 刘为任,张海龙,侯志宁.基于自适应 FLP 滤波的金属谐振陀螺信号处理方法[J].中国惯性技术学报,2019,27(1):83-88.
- [12] Madgwick SOH, Harrison AJL, Vaidyanathan R. Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm[C].IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, Zurich, Switzerland: IEEE, 2011:1-7.
- [13] 张庆宾,田国会,张衍儒.基于 AHRS 的人体姿态捕捉系统的设计与实现[J].高技术通讯,2013,12:1292-1298.
- [14] 张敏,李凯,韩焱等.基于卡尔曼滤波的陀螺仪降噪处理[J].传感技术学报,2018,2:223-227.
- [15] Edmond S.L. Ho, Jacky C.P. Chan, Donald C.K. Chan et al. Improving Posture Classification Accuracy for Depth Sensor-based Human Activity Monitoring in Smart Environments[J]. Computer Vision & Image Understanding, 2016, 148(C):97-110.
- [16] 李先瑞,陈俐慧,倪文军等.引航员登离船安全防护装置研究[J].海洋科学,2019,43(02):74-81.
- [17] Khosravian A, Trumpf J, Mahony R et al. Recursive Attitude Estimation in the Presence of Multi-rate and Multi-delay Vector Measurements[C]. In Proceedings of the American Control Conference. IEEE, 2015.
- [18] Bo Wang, Xie Ni, Guoru Zhao et al. A wearable action recognition system based on acceleration and attitude angles using real-time detection algorithm[J]. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2017, 2017:2385-2389.
- [19] 周艳青,薛河儒,姜新华等.基于改进的卡尔曼滤波算法的气象数据融合[J].计算机系统应用,2018,4:184-189.
- [20] 张贤达.现代信号处理[M].北京:清华大学出版社,2002
- [21] 杨宇,阚奕,何东健,刘畅等.基于 ZigBee 的奶牛体征监测系统设计与实现 [J]. 65 农机化研究,2018,9:74-80.
- [22] 杜润乐,刘佳琪,李志峰等.低通滤波与卡尔曼滤波相结合的制导律识别,哈尔滨工业大学学报,2017,4:66-72.
- [23] 李玲玲,范锦彪,王燕.侵入加速度信号的低通滤波方法[J].探测与控制学报,2016,2:53-56.
- [24] Afzali B, Karkhanehchi M M, Karimi G. Design of compact microstrip lowpass filter with ultra-wide stopband using modified T-shaped resonator[J]. International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 2014, 1(1):1-5.
- [25] Verma A K, Chaudhari N P, Kumar A. Improved performance step impedance lowpass filter[J]. AEU - International Journal of Electronics and Communications, 2013, 67(9):761-770.
- [26] Chang D C, Hsue C W. Wide-band equal-ripple filters in nonuniform

transmission lines[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2002, 50(4):1114-1119.

[27] 江楠李伟. 基于 MATLAB 的 FIR 数字滤波器设计 [J]. 电子设计工程, 2017, 14: 187-190.

[28] 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.

[29] HE Yanyu GUO Jin. FIR Systems Identification Under Quantized Output Observations and a Large Class of Persistently Exciting Quantized Inputs [J]. Journal of Systems Science and Complexity, 2017,5:1061-1071.

[30] 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.

[31] WEN Jian-gang,HUA Jing-yu,LI Sun-an,et al. Interference-Driven Designs of Nonlinear-Phase FIR Filter with Application in FBMC System[J]. China Communications, 2016,12:15-24.

[32] 张红 , 刘迅成 , 王龙 . 自适应滤波器综合实验设计 [J]. 实验技术与管 66 理,2018,2:34-36.

[33] 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.

[34] Salameh Jack P, Cauet Sebastien, Etien Erik et al. A new modified sliding window empirical mode decomposition technique for signal carrier and harmonic separation in non-stationary signals: Application to wind turbines[J]. ISA transactions,2018.

[35] Kaleem Muhammad, Gurve Dharmendra, Guergachi Aziz et al. Patient-specific seizure detection in long-term EEG using signal-derived empirical mode decomposition -based dictionary approach[J]. Journal of neural engineering, 2018, 15(5).

[36] Wahba Maram A, Ashour Amira S, Napoleon Sameh A et al. Combined empirical mode decomposition and texture features for skin lesion classification using quadratic support vector machine[J]. Health information science and systems, 2017, 5(1).

[37] 程雨婷,彭勃,魏玺章. 基于震荡权重粒子群杂交的过 2 采样 DFT 滤波器组优化设计[J]. 系统工程与电子技术,2018, 5:982-988.

[38] 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.

[39] 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.

[40] 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.

[41] 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. 67

攻读硕士学位期间发表的论文及其它成果

(一) 发表的学术论文

[1] 第一作者 . 领航员登离船人体姿态算法研究与实现 [J] . 电子学报,2019,11(47):2292~2298

[2] 第一作者 . 领航员登离船安全防护装置研究 [J]. 海洋科学,2019,43(2):74-81.

[3]第一作者. 一种软梯爬梯的自动跟随安防装置设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2019,19(2):77-80.

(二) 获取的专利

[1]第三作者. 领航员登离船自动爬梯跟随防护系统 ZL 2019 2 0175255.X

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 表示握手成功。 4.7.2.2 查询指令PC 上位计算机通过查询指令读取姿态感知子系统的时间、实时电量、波特率、占空比，对应的指令内容见表
2. 发送 FC 02 00 00 00 00 FC 6D 接收 FC F2 00 Hour Min Sec × × 实时电量发送 FC 03 00 00 00 00 3C 50 接收 FC F3 00 00 ADCH ADCL × × 串口波特率发送 FC 04 00 00 00 00 FC E5 接收 FC F4 00 BaudH BaudM BaudL × × 电机占空比发送 FC 05 00 00 00 00 3C D8 接收 FC F5 00 00 SpdH
3. 7.2.3 设置指令PC 上位机可以通过设置指令更改爬梯防护子系统的波特率值、系统时间、电机占空比，以及恢复出厂设定。其指令内容如表 4-9 所示。
4. A1 00 Hour Min Sec XX XX 接收 FC E1 01 Hour Min Sec XX XX 串口波特率发送 FC A2 STA1 00 00 00 XX XX 接收

5. 实际距离内容第一组第二组第三组第四组第五组平均值平均误差
50cm
一阶上 48.5 49.5 48.7 48.4 51.2 49.26 -0.74
一阶下 49.8 49.2 48.6 48
6. 气压计可以很精确地区分出引航员登离船爬梯过程的方向变化，并且方向判断可以在步数确定前就先行判断出来，
7. 引航员在坠落时的人身防护。
图 5-14 防坠落模拟测试
- 5.5 本章小结本章

说明：1. 总文字复制比：被检测论文总重合字数在总字数中所占的比例

2. 去除引用文献复制比：去除系统识别为引用的文献后，计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

3. 去除本人文献复制比：去除作者本人文献后，计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

4. 单篇最大文字复制比：被检测文献与所有相似文献比对后，重合字数占总字数的比例最大的那一篇文献的文字复制比

5. 指标是由系统根据《学术论文不端行为的界定标准》自动生成的

6. 红色文字表示文字复制部分；绿色文字表示引用部分；棕灰色文字表示作者本人文献部分

7. 本报告单仅对您所选择比对资源范围内检测结果负责



✉ amlc@cnki.net

🌐 <http://check.cnki.net/>

👤 <http://e.weibo.com/u/3194559873/>