

同行专家业内评价意见书编号：20250854335

附件1

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）
同行专家业内评价意见书

姓名：张一帆

学号：22260115

申报工程师职称专业类别（领域）：电子信息

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）制

2025年03月11日

填表说明

一、本报告中相关的技术或数据如涉及知识产权保护、军工项目保密等内容，请作脱密处理。

二、请用宋体小四字号撰写本报告，可另行附页或增加页数，A4纸双面打印。

三、表中所涉及的签名都必须用蓝、黑色墨水笔，亲笔签名或签字章，不可以打印代替。

四、同行专家业内评价意见书编号由工程师学院填写，编号规则为：年份4位+申报工程师职称专业类别(领域)4位+流水号3位，共11位。

一、个人申报

(一) 基本情况【围绕《浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】

1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况(不少于200字)

在课程学习过程中，本人认真学习了电子信息领域相关的基础知识和专业技术并取得了较为优良的成绩。掌握了嵌入式系统设计，电路设计，传感器驱动程序设计，滤波算法设计等多项专业技术知识。通过实际的企业专业实践和科研工作，加深了我对MEMS陀螺等惯性传感器和惯性导航及姿态解算的相关理论知识的理解。在实践中，我深入学习了MEMS陀螺仪，加速度计，磁力计的工作原理、结构设计和应用领域等相关知识，了解了惯性传感器的常见误差源及滤波方法。在编写软件驱动程序以实现MCU与传感器间通讯及传感器数据传输的过程中，深入了解了I2C, SPI, UART等常用嵌入式系统外设接口的通信协议与程序设计方法。此外，我掌握了卡尔曼滤波的基本原理和设计方法，学习了如何通过卡尔曼滤波的递推计算获取状态量的最优估计值，并在实践项目基础上实现了对卡尔曼滤波的优化改进。我还进一步掌握了惯性导航的基本原理和关键技术，包括如何通过多传感器融合进行姿态解算以获取载体的横滚角、俯仰角和航向角，以及坐标变换、四元数法等理论。掌握了使用阵列技术对MEMS陀螺仪进行误差处理的相关技术以及多传感器数据融合算法的设计，深刻了解了基于陀螺仪的寻北定向原理，并对阵列式MEMS陀螺仪进行应用验证。同时，也逐渐掌握了对嵌入式系统的设计与调试相关内容，学习了产品样机验证测试的设计方法及相关文案的撰写方法。

2. 工程实践的经历(不少于200字)

本人于2023年7月1日至2024年7月1日在宁波圣荣电子科技有限公司开展专业实践，所从事的工程实践项目为“基于MEMS

IMU的寻北及姿态跟踪关键技术研究”。项目目标是和企业一同研制一种融合惯性测量单元姿态跟踪及组合定位装置，可用于惯性导航或姿态跟踪等工程应用场景，能实时获取高精度的载体的姿态角信息，还可与北斗/GPS

模块结合使用获取位置信息。本项目在MEMS惯性传感器误差分析，数据预处理，确定性误差标定矫正，多传感器数据融合，姿态解算算法等关键技术开展了融合惯性测量单元硬件设计，

惯性传感器误差分析及处理，高精度多传感器融合姿态解算算法设计及优化，装置误差标定，装置测试验证等方面的研究。本人承担任务及完成情况为：完成惯性测量单元（IMU）及控制器的硬件电路设计实现，包括器件选型，PCB电路设计及调试。在MCUXpressoIDE

开发环境下，基于MK22FN512VLH12微控制器完成了陀螺仪、加速度计和磁力计的驱动程序编写，实现通过SPI接口及I2C接口对传感器进行参数配置并采集数据的功能。编写程序实现了IMU模块的姿态数据的串口传输，控制模块GPS报文解析、蓝牙传输等功能。设计了一种基于双层卡尔曼滤波的改进型多传感器数据融合姿态解算算法并部署至单片机，通过惯性传感器数据获得高精度姿态结果，同时实现了对奇异点的补偿矫正以满足全角度解算。编写相关技术文档，设计第三方认证所需的测试验证方案。目前，已经完成整体的系统设计及指标测试，装置姿态误差低于 0.5° ，姿态结果时间稳定性优于 $1^\circ/h$ ，通过了浙江省电子信息产品检验所认证。在实践过程中，本人积极践行社会主义核心价值观，融入企业文化，同企业一同创新进取，高效率地完成项目各项内容，与项目成员一起精益求精，不断完善样机产品指标。

3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例(不少于1000字)

在企业进行“基于MEMS

IMU的寻北及姿态跟踪关键技术研究”项目的过程中，在IMU单元设计部分，针对惯性传感器

自身误差导致数据精度较低,姿态跟踪误差大的问题。本人基于传感器信号处理相关知识,针对不同传感器数据特性,设计了相应的误差处理方法。惯性传感器的系统误差可被传感器内部的普通低通滤波器较好的滤除,人为误差可通过中值滤波器平滑。针对加速度计在剧烈转动时的峰值信号,采取使用陀螺仪输出的角速度数据融合的形式进行校正处理,针对磁力计因外界磁场环境干扰导致的误差,采用最小二乘法椭圆拟合计算出三轴偏移值后补偿校正。

在姿态解算算法设计方面,针对传统算法精度较差的问题,设计了一种改进的卡尔曼滤波算法,姿态解算算法的实现采用双层扩展卡尔曼滤波融合算法,使用加速度计和磁力计数据分别对陀螺仪数据进行双层补偿校正,解决陀螺仪漂移导致长时间误差积分影响姿态角精度及时间稳定性的问题。针对进一步抑制运动加速度干扰的需求,设计了一种通过权重因子自适应调节量测噪声协方差矩阵方法,增加动态四元数估算结果的权重,以减小非线性加速度噪声对整体姿态估算的影响。具体实施方法为:计算三轴规范化合加速度值与静态时重力加速度值间的差值,并引入权重因子,实现对量测噪声协方差矩阵的自适应调整。通常的卡尔曼滤波算法当俯仰角接近 $\pm 90^\circ$ 时,计算过程中会出现奇异值,这将导致姿态解算算法无法正确解算横滚角与航向角。因此在算法设计过程中采用转轴补偿法修正对奇异点(俯仰角 $\pm 90^\circ$)的姿态解算。第一步,当判断载体俯仰角接近 $\pm 90^\circ$ 时,将测得的加速度与磁场强度数据转轴匹配为载体在另一水平的数据;第二步,将俯仰角视作 0° ,带入基于双层扩展卡尔曼滤波的姿态解算算法,计算出航向角与横滚角,此时的航向角与横滚角与正确值固定相差 180° ;第三步,计算当前的俯仰角,将航向角与横滚角减去固定的角度值,得到正确的姿态角。

在学位论文相关的“基于阵列技术的MEMS陀螺仪误差处理与寻北应用”课题研究中,针对MEMS陀螺仪普遍存在误差大、检测精度低的问题,单一MEMS陀螺仪难以满足寻北定向等高精度应用的需求的问题,本人本文提出了一种基于阵列技术的MEMS陀螺仪误差处理方法,通过将多个MEMS陀螺仪组合成阵列,对同一角速度信号进行冗余检测,并对检测数据进行多传感器数据融合,获得高精度的陀螺阵列输出值,从而提高MEMS陀螺仪的检测精度。采用Allan方差分析法对其角度随机游走、速率随机游走和零偏不稳定性等主要随机误差进行了量化辨析,进而建立了MEMS陀螺仪的随机游走误差模型。针对集中式数据融合算法存在的计算复杂,系统稳定性差,精度优化效果有限等问题,在误差分析和建模的基础上,结合阵列技术,多传感器数据融合和卡尔曼滤波原理,提出了基于分布式架构的数据融合算法。在融合前,对单个MEMS陀螺仪进行局部处理,并设计了基于支持矩阵的加权平均和恒增益卡尔曼滤波两种融合方法优化数据融合效果。进一步研究了参与数据融合的陀螺数量和安装方式对精度优化效果的影响。设计了一种高精度MEMS陀螺仪阵列方案:将8个MEMS陀螺仪分为4组,沿敏感轴差分反向安装进行角速度检测,并采用基于恒增益卡尔曼滤波的分布式双层数据融合算法实现数据融合。根据上述研究结果,撰写了一篇国家发明专利“一种高精度阵列式MEMS陀螺仪数据融合方法”。

设计了基于阵列式MEMS陀螺仪的寻北应用验证样机装置,对其在寻北定向应用场景下的效果进行验证。在装置硬件电路设计部分,针对电路电源纹波过大导致传感器精度下降的问题,我同导师积极交流,了解到纹波是由于直流稳定电源的电压波动而造成的一种现象。由于PCB设计时需要使用到多个电压信号包括5V, 2.5V, 3.3V的电压输入,故在设计电源时会造成各端信号之间的互相干扰。据此,设计了一种分级降压形式的采用分级降压的电源供给方式,不仅能够为系统中各模块提供其正常运行所需的不同电压,还能显著减少各电路模块之间的噪声干扰。在寻北应用部分,对传统四位置寻北方案中相隔 180° 的两组数据间采集间隔偏大,从而加剧了陀螺漂移中趋势项误差影响的问题,通过改变转动次序进一步优化,每次采集均在相隔 180° 的两个位置上转换,即调整转动次序为 $0^\circ, 180^\circ, 90^\circ, 270^\circ$ 或 $0^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 90^\circ$,使得相隔 180° 对称位置上的采集间隔变小,从而减小漂移项差值的影响。针对系统处于倾斜基座下时的寻北结果误差问题,采用加速度计或倾角传感器获取

基座相对于水平面的倾角，通过简单运算实现解析调平，对寻北结果进行补偿。测试结果显示，阵列式MEMS陀螺仪在四位置寻北方案下能达到 0.5° 以内的寻北重复精度和寻北定向精度。

(二) 取得的业绩(代表作)【限填3项, 须提交证明原件(包括发表的论文、出版的著作、专利证书、获奖证书、科技项目立项文件或合同、企业证明等)供核实, 并提供复印件一份】

1.

公开成果代表作【论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等】

成果名称	成果类别 [含论文、授权专利(含发明专利申请)、软件著作权、标准、工法、著作、获奖、学位论文等]	发表时间/授权或申请时间等	刊物名称/专利授权或申请号等	本人排名/总人数	备注
一种阵列式 MEMS 陀螺仪高精度数据融合方法	发明专利申请	2024年08月30日	申请号: 202411207303.0	2/2	

2. 其他代表作【主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等】

于2023年7月1日至2024年7月1日在宁波圣荣电子科技有限公司实践期间, 设计并开发了基于 MEMS IMU的融合惯性测量单元姿态跟踪及组合定位装置样机一台。贡献排名: 1/3

(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况

课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩： 89 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间： 1 年(要求1年及以上) 考核成绩： 92 分
本人承诺	
个人声明：本人上述所填资料均为真实有效，如有虚假，愿承担一切责任，特此声明！	
申报人签名： 张一帆	

浙江大学研究生院 攻读硕士学位研究生成绩表

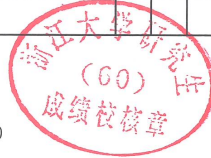
学号: 22260115	姓名: 张一帆	性别: 男	学院: 工程师学院	专业: 电子信息	学制: 2.5年						
毕业时最低应获: 26.0学分	已获得: 29.0学分	入学年月: 2022-09	毕业年月:								
学位证书号:	毕业证书号:	授予学位:									
学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质	学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质
2022-2023学年秋季学期	研究生英语能力提升		1.0	免修	跨专业课	2022-2023学年秋冬学期	电子与信息工程技术管理		2.0	92	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	研究生英语		2.0	免修	专业学位课	2022-2023学年冬季学期	新时代中国特色社会主义思想理论与实践		2.0	89	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	工程技术创新前沿		1.5	88	专业学位课	2022-2023学年春季学期	自然辩证法概论		1.0	83	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	数值计算方法		2.0	100	专业选修课	2022-2023学年春夏学期	高阶工程认知实践		3.0	90	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	研究生英语基础技能		1.0	免修	公共学位课	2022-2023学年夏季学期	研究生论文写作指导		1.0	92	专业选修课
2022-2023学年冬季学期	产业技术发展前沿		1.5	91	专业学位课	2022-2023学年春夏学期	移动互联网智能设备应用设计与实践		3.0	90	专业学位课
2022-2023学年秋冬学期	工程伦理		2.0	96	专业学位课	2022-2023学年夏季学期	物联网信息安全技术与应用基础		2.0	91	专业选修课
2022-2023学年冬季学期	物联网操作系统与边缘计算		2.0	91	专业选修课		硕士生读书报告		2.0	通过	

说明: 1. 研究生课程按三种方法计分: 百分制, 两级制 (通过、不通过), 五级制 (优、良、中、及格、不及格)。
2. 备注中 "*" 表示重修课程。

学院成绩校核章:

成绩校核人: 张梦依

打印日期: 2025-03-20





(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119203023 A

(43) 申请公布日 2024. 12. 27

(21) 申请号 202411207303.0

(22) 申请日 2024.08.30

(71) 申请人 浙江大学

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72) 发明人 金文光 张一帆

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务有限公司 33200

专利代理师 邱启旺

(51) Int. Cl.

G06F 18/25 (2023.01)

G01C 19/56 (2012.01)

G01C 25/00 (2006.01)

G06F 18/2113 (2023.01)

G06F 18/10 (2023.01)

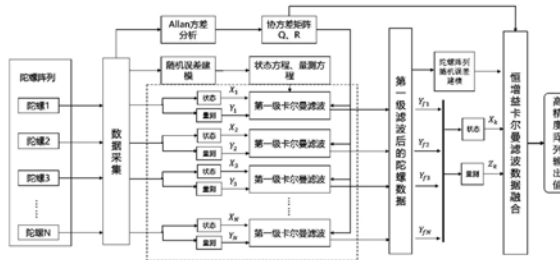
权利要求书5页 说明书11页 附图3页

(54) 发明名称

一种阵列式MEMS陀螺仪高精度数据融合方法

(57) 摘要

本发明提出一种阵列式MEMS陀螺仪高精度数据融合方法,该方法采用基于改进卡尔曼滤波的多级分布式数据融合技术,在多传感器数据进入融合中心前,设计第一级卡尔曼滤波器对各个传感器进行局部最优估计,获取阵列中单个陀螺的第一级估计值,再将处理后的信息送入第二级融合中心进行处理,最终获取优化后的高精度的角速度输出值。同时,在卡尔曼滤波过程中利用滤波增益的稳态值进行角速度的估计,避免了每步对增益和均方差的计算,优化处理过程的复杂度和运算量,更利于陀螺阵列的实时处理。本方法对于降低MEMS陀螺仪随机误差并提高MEMS陀螺仪检测精度有显著效果。



产品与样机成果证明

证明方：宁波圣荣电子科技有限公司

被证明方：张一帆同学

证明内容：

该同学于 2023 年 7 月 1 日至 2024 年 7 月 1 日在我司实习实践期间，设计并开发了基于 MEMS IMU 的融合惯性测量单元姿态跟踪及组合定位装置样机，情况属实，特此证明。

产品与样机相关信息

- 1) **产品与样机功能：**装置包括三部分：9 自由度 IMU，控制器和 BD/GPS 基站，如下图所示。其中 IMU 实时采集 3 轴角速度、3 轴加速度和三轴地磁场强度，经 DSP 数据滤波和校正、多传感器融合姿态解算得到动作姿态信息（航向角和俯仰、横滚姿态角）；控制器采集使用者的移动位置信息，与从 IMU 获取的姿态信息打包成帧再通过蓝牙发送给上位机；而基站用于提高 BD/GPS 接收器的定位精度。
- 2) **创新性介绍：**装置的姿态解算采用一种基于 MEMS 陀螺仪，加速度计，磁力计数据融合的改进型双层卡尔曼多传感器信息融合算法，实现了 0.5° 以内的姿态解算精度与 $1^\circ/h$ 以内的时间稳定性，通过转轴补偿实现了包括奇异点的全角度姿态解算，同时具有低成本、体积小的优势。
- 3) **社会经济效益：**惯性导航及姿态跟踪等工程应用领域均需要高精度的自身定位信息与导航信息。本项目的成果能为当前军用、民用航海设备提供低成本的高精度导航信息，保证舰艇行驶安全，由于装置实现了便携性与可穿戴性，也可应用于运动分析，动作捕捉等工程场景。本实践项目开发的装置如能投入使用，能够减少当前民营企业在惯性导航和姿态跟踪应用领域上的预算，具有一定的经济与社会效益。
- 4) **个人贡献说明：**张一帆同学在本次实践中，完成了融合惯性测量单元姿态跟踪与组合定位装置的整体系统设计，参与了硬件设计开发的工作，并完成了嵌入式系统的软件设计与调试，对于该产品与样机的完善做出了重要贡献。贡献排名：1/3。
- 5) **相关照片**



实践单位负责人签字(公章)：张一帆

校内导师签字：张一帆

2024年7月20日

2024年7月22日