

# 基于分度台转位装置的惯性测量单元智能检测<sup>①</sup>

王 斌, 张 林, 邓 军, 熊耀臣, 吕 明

(九江精达检测技术有限公司, 九江 332008)

(中国船舶工业集团公司第 6354 研究所, 九江 332000)

**摘 要:** 针对惯性测量单元(IMU)批量检测效率低、人工劳动量大的现状, 设计开发出一种基于分度台转位装置的 IMU 智能检测系统. 其采用高精度分度台转位装置为 IMU 提供基准角度位置, 利用工控机控制分度台转位装置、程控直流电源和 IMU 协调有序工作, 通过上位机软件智能控制程控直流电源向 IMU 供电, 以及自动发送、采集、分析和处理检测数据, 实现对 IMU 的智能、高效、精确检测. 实验结果表明, 该系统可同时自动检测 4 套 IMU 的参数指标, 并自动计算、显示和保存检测数据, 且检测精度、效率和智能化程度高, 人工劳动量小, 性价比, 此外, 软件界面上所有功能均可手动触摸操控, 操作十分便捷.

**关键词:** 惯性测量单元; 分度台转位装置; 智能检测; 计算机应用; 数据处理

## Intelligent Detection for IMU Based on Dividing Table Indexing Device

WANG Bin, ZHANG Lin, DENG Jun, XIONG Yao-Chen, LV Ming

(Jiujiang Jingda Measurement Technology Co. Ltd, Jiujiang 332008, China)

(The 6354 Institute of China State Shipbuilding Corporation, Jiujiang 332000, China)

**Abstract:** According to the current situation that inertial measuring unit(IMU) is detected with low measurement efficiency and large amount of labour, this article designs and develops an IMU intelligent measurement system based on dividing table indexing device. This system makes use of dividing table indexing device to provide reference angle positions, takes advantage of industrial computer to control dividing table indexing device, programmable DC power and IMU to work orderly and harmoniously. Besides, host-computer software can control the programmable DC power to supply electricity for IMU, and automatically send, collect, analyze and process measurement data to detect IMU intelligently, efficiently and accurately. The experiment result shows that 4 IMUs can be detected automatically at the same time, all detection data can be computed, displayed and saved. Moreover, this system has the features of high detection precision, more efficient, high level of intelligence, small amount of labor, and high performance-cost ratio. In addition, all functions in software interface can be operated through manual touch, which makes it convenient to operate.

**Key words:** IMU; dividing table indexing device ; intelligent detection; computer application; data processing

根据 GB/T 28587-2012《移动测量系统惯性测量单元》定义, 移动测量系统(机载、车载和船载等)中的惯性测量单元<sup>[1]</sup>(IMU: Inertial Measuring Unit)是用来测定运动载体姿态的偏航角( $\varphi$ )、俯仰角( $\theta$ )和侧滚角( $\Phi$ ), 即航向、俯仰、横滚的状态. 一般一台 IMU 包含三个单轴的加速度计和三个单轴的陀螺<sup>[2,3]</sup>, 加速度计检测物体在载体坐标系统独立三轴的加速度信号,

而陀螺检测载体相对于导航坐标系的角速度信号, 测量物体在三维空间中的角速度和加速度, 并以此解算出物体的姿态. 因此, 其在导航中有着很重要的应用价值, 大多应用在需要进行运动控制的设备上, 如汽车、机器人等, 也被用在需要用姿态进行精密位移推算的场合, 如飞机、导弹和航天器的惯性导航设备等. 所以, 在 IMU 的设计、生产试验和检验中均需对其  $\varphi$ 、

<sup>①</sup> 收稿时间:2014-08-08;收到修改稿时间:2014-11-28

$\theta$ 和 $\phi$ 的精度参数进行严格检测,同时,还需对其输出稳定性 $B_S$ 和开机重复性 $B_R$ 进行检测,进而保证解算出来的物体姿态信息精确度高.

在实际检测中,多利用转台为 IMU 提供基准角度位置,通过手动控制 IMU 供电设备通、断电,检测结果一般手动记录到打印表格中,且一台检测设备同时仅能检测一台 IMU,因此,在 IMU 批量检测中就会出现检测效率和检测智能化水平低、人工劳动量大、设备成本高等实际问题.为了解决此类问题,设计开发出一种基于分度台转位装置的 IMU 智能检测系统,其采用分度台转位装置为 IMU 提供基准角度位置,利用工控机控制 4 台分度台转位装置、4 台程控直流电源和 4 台 IMU 协调有序工作,通过上位机软件自动发送、采集、分析和处理数据,并实时显示和保存处理结果,可同时、自动检测 4 台 IMU 参数指标,在提高检测效率的同时,可大大减少人力成本和设备成本投入.

### 1 系统方案

基于分度台转位装置的 IMU 智能检测系统主要由分度台转位装置、程控直流电源、工控机和上位机软件组成,其中分度台转位装置为 IMU 提供测量基准角度位置,程控电源为 IMU 供电,工控机控制分度台转位装置、程控直流电源和 IMU 协调有序工作,上位机软件自动发送、采集、分析和处理测量数据,并实时显示和保存处理结果.系统总体结构如图 1 所示,可实现三大功能:(1)智能控制程控电源向 IMU 供电;(2)智能控制转位装置旋转台面的自动升降和转位锁紧;(3)实时自动采集、处理、显示和保存 IMU 数据.

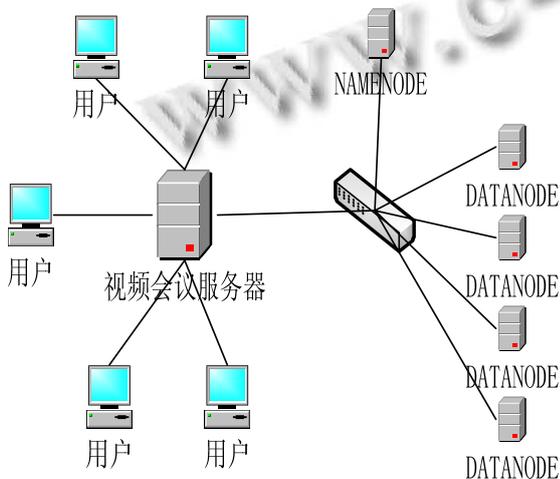


图 1 MU 智能检测系统结构图

## 2 各系统硬件分析

### 2.1 分度台转位装置

分度台转位装置是一种利用多齿分度技术实现角度定位,通过机械定位方式锁紧,具有锁紧稳定性强、分度精度(达 5")和重复定位精度(达 5")高,抗振动、抗冲击性强(50g)的一种装置.它由控制盒和机械台体组成,机械台体(如图 2 所示)由底座、上下端齿盘、旋转台面、升降传动机构和转位传动机构组成,端齿盘齿数为 120(以 120 为例),旋转台面与上端齿盘一体,底座与下端齿盘一体,控制盒控制传动系统,完成旋转台面相对底座的自动升降与转位,可实现以 3°(120 齿)为最小分度角,在 0°-360°范围内自由转位与定位.该装置是九江精达检测技术有限公司开发的成熟产品,完全具有自主研发知识产权,其被广泛应用于导航系统关键仪器的测试等领域.

该装置的统一通讯接口为 RS-422,可方便通过工控机控制其转位与定位锁紧.

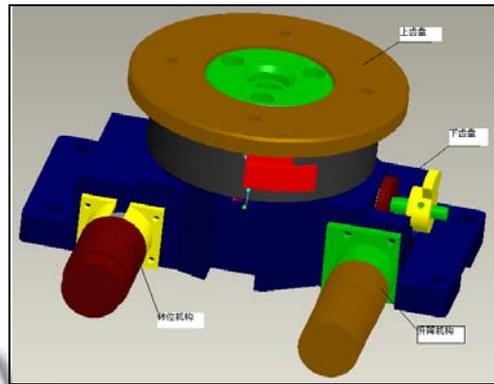


图 2 分度台转位装置外形结构图

### 2.2 程控直流电源

在 IMU 智能检测过程中,IMU 需要多次自动通、断电,因此,采用程控直流电源对其供电,通过上位机软件自动控制程控直流电源供电通道的开、关即可实现.为了提高检测系统的通用性,选取一款宽电压、宽电流输出可调的单通道程控直流电源,主要参数:1)输入电压:AC220V±10%,50/60 Hz;2)输出电压:0~60V;3)输出电流:0~6A;4)编程接口:RS-232.其它参数均满足工业等级要求.

### 2.3 工控机和通讯接口

由于检测系统工作时间长,工作环境复杂,本文选取研华公司生产的稳定性强、符合工业等级要求的

工控机来实现整个系统的控制。机箱选用 IPC-610L 型, 采用底板+主板形式, 4 个 PCI 插槽, 酷睿双核处理器, 2G 内存。经测试, 该配置完全满足系统需求。

根据分度台转位装置(RS-422)、程控直流电源(RS-232)和 IMU(RS-232/RS-422/CAN)的通讯接口要求, 工控机预留 RS-232 和 RS-422 接口各 8 个, CAN 接口 4 个, 以满足检测设备的通用性要求。

### 2.4 显示器

为了提高系统操作的便捷性和实用性, 选取一款 21.5 英寸大屏幕触摸屏显示器, 实现可手动触摸操控上位机软件。

## 3 上位机软件设计

### 3.1 软件界面设计

在 Windows 7 操作系统上采用 VS2005(C++)开发工具和模块化设计方法对上位机软件进行设计, 实现了上位机软件界面的开发(如图3所示), 其主要由功能菜单(包括测试基本信息录入、串口状态查询、查看保存数据等)、4 组控制测量显示区(A、B、C 和 D 组)和状态栏(显示当前测量状态, 包括寻北状态、转位角度、循环次数等信息), 实现对 IMU 参数指标检测和结果实时显示。



图3 上位机软件界面

### 3.2 软件工作流程

一套检测软件可实现: (1)IMU 偏航角、俯仰角和侧滚角精度测量; (2)IMU 开机重复性测量; (3)IMU 输出稳定性测量; (4)IMU 耐压性能测量。要实现以上参数测量, 只需在软件参数初始化时设置不同的参数即可实现。参数初始化主要包括通讯接口参数初始化,

程控电源电压( $V$ )、电流( $I$ )大小初始化, 循环次数( $L_0$ )、寻北方式、检测基本信息、断电时间( $T_0$ )、寻北间隔角度( $A_0$ )、检测次数( $N_0$ )等信息初始化。(1)当  $T_0 \neq 0$  且  $A_0 \neq 0$  时即可实现偏航角、俯仰角和侧滚角精度测量, 工作流程如图4所示;(2)当  $T_0 \neq 0$  且  $A_0 = 0, N_0 \neq 0$  时即可实现 IMU 开机重复性测量, 工作流程如图5所示;(3)当  $T_0 = 0$  且  $A_0 = 0, N_0 \neq 0$  时即可实现 IMU 输出稳定性测量, 工作流程与图5类似;(4)当  $V = V_1, V_2 \dots, V_1 \neq V_2 \neq \dots$  时, 即可实现 IMU 耐压性能测量。

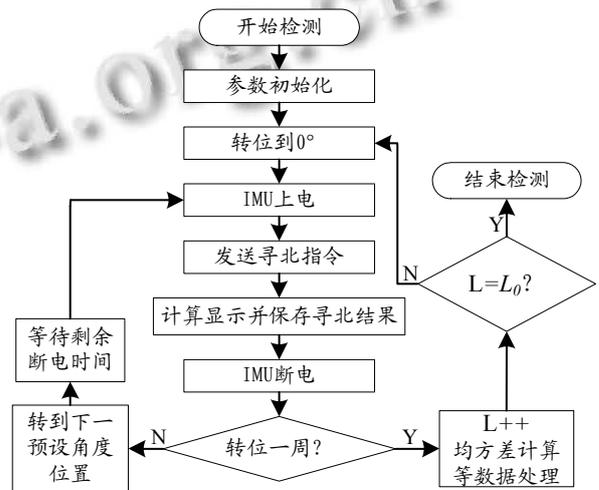


图4 IMU 偏航角、俯仰角和侧滚角精度测量流程图

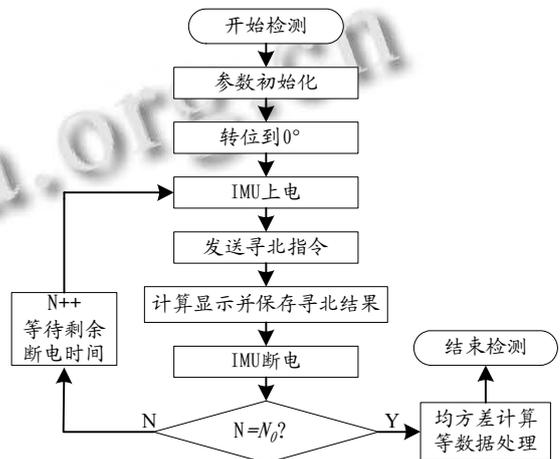


图5 IMU 开机重复性测量流程图

### 3.3 数据处理分析

#### 3.3.1 多线程技术

多线程原理: 线程是进程内一个相对独立、可度的执行单元, 当操作系统为每个独立线程安排一些 CPU 时间时, 就以轮换方式向线程提供时间片, 使多

个线程“并行”地运行在同一进程中,可以实现“并行”处理任务,避免某项任务长时间占用 CPU 时间<sup>[4-6]</sup>。

由于 IMU 数据采集速率高(400 帧/秒),数据量大(58 字节/帧),如果数据采集和数据处理在同一线程中进行极易出现部分数据丢失的现象,为了避免此现象发生,开辟新的数据处理线程,使数据采集和数据处理分别在不同线程中进行,避免 CPU 被二者其一长时间占用,大大提高了 CPU 的利用率,最终完全实现了串口通讯下的高速数据采集和处理。其中数据采集线程只负责把采集到的数据存放到循环队列缓冲区中,而数据处理线程负责从循环队列缓冲区中取出数据并对其进行相关处理(解析、显示、保存等)。

### 3.3.2 循环队列缓冲区技术

在顺序队列中,头指针 *front* 始终指向队列头元素,而尾指针 *rear* 始终指向队列尾元素的下一个位置,随着进队、出队操作的进行,有可能会出现 *rear* 指针已到达队列存储空间的终点,而队列的实际可用空间并未占满现象。为了避免此现象的发生,一个巧妙的办法是将顺序队列臆造为一个环状空间,称之为循环队列<sup>[7]</sup>。在循环队列中,入队时尾指针向前追赶头指针,出队时头指针向前追赶尾指针,因此,只需通过条件  $front != rear$  来判别队列中数据是否被取完。当数据处理线程检测到  $front != rear$  时,说明队列中已经存入接收到的数据,就开始取出队列中的数据进行处理,反之一直处于循环等待状态,保证了数据处理的实时性。因此,采用循环队列作为缓冲区存储串口接收到的数据是一种高效可行的方案。

### 3.3.3 CRC 校验技术

循环冗余校验(CRC)是一种利用除法及余数的原理来做错误侦测的方法<sup>[8,9]</sup>,它将要发送的数据比特序列当作一个多项式  $f(x)$  的系数,发送时用双方预先约定的生成多项式  $g(x)$  去除,求得一个余数多项式,将余数多项式加到数据多项式之后发送到接收端,接收端同样用  $g(x)$  去除接收到的数据,进行计算,然后把计算结果和实际接收到的余数多项式数据进行比较,相同的话表示传输正确。CRC 校验检错能力强,且容易实现,是目前应用最广的检错码编码方式之一。

因此,在进行处理 IMU 数据之前,需要对数据做 CRC 校验预处理,以保证处理数据的准确性。其中生成多项式  $g(x)=x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$ 。

### 3.3.4 多媒体定时器技术

在 IMU 检测过程中定时通、断电时间均有严格的要求,为了提高定时精度,采用高精度定时器—多媒体定时器<sup>[10,11]</sup>(精确到 1ms),利用该定时器可很精确地读出系统的当前时间,且能在非常精确的时间间隔内完成一个事件、函数或过程的调用。采用多媒体定时器在提高 IMU 通、断电定时精度的同时,也保证了寻北时间的高可靠性。

## 4 实验结果分析

在实验室环境下,分别将 IMU 和分度台转位装置通讯接口与上位机连接好后,启动电源,手动触摸操控打开上位机软件,初始化各参数并打开通讯接口,点击“开始测试”按钮,即可开始自动测量,直至测量结束。某次测量结果如表 1 和表 2 所示,IMU 输出稳定性测量结果和表 2 类似,其中“N”代表序号,“Z”代表转位角度,“TB”代表寻北开始时间,“TE”代表寻北结束时间。测量结果表明,该检测系统可按照用户需求,一次性快速、准确地完成 4 台 IMU 的性能参数测量,并自动计算、显示和保存测量数据,测量智能化程度和效率均很高。此外,通过与基于转台的检测系统对比分析(如表 3),其整体上具有明显的优势。

表 1 IMU 偏航角、俯仰角和侧滚角精度测量 (单位: °)

N	Z	T <sub>B</sub>	T <sub>E</sub>	$\varphi$	$\theta$	$\Phi$
1	0	14:08:07	14:11:02	40.892	-0.120	0.080
2	45	14:13:09	14:16:04	85.870	0.080	0.090
3	90	14:18:11	14:21:06	130.902	-0.130	0.060
4	135	14:23:13	14:26:08	175.914	-0.130	-0.040
5	180	14:28:15	14:31:10	220.896	-0.050	-0.120
6	225	14:33:17	14:36:12	265.896	0.050	-0.120
7	270	14:38:19	14:41:14	310.920	0.120	-0.040
8	315	14:43:21	14:46:16	355.898	0.130	0.060
$\varphi$ 均方差		$\theta$ 均方差		$\Phi$ 均方差		
0.0150		0.1138		0.0875		

表 2 IMU 开机重复性测量 (单位: °)

N	Z	T <sub>B</sub>	T <sub>E</sub>	$\varphi$	$\theta$	$\Phi$
1	90	15:13:39	15:16:34	130.906	-0.130	0.060
2	90	15:18:41	15:21:36	130.920	-0.130	0.060
3	90	15:23:43	15:26:38	130.878	-0.130	0.060
4	90	15:28:45	15:31:40	130.902	-0.130	0.060
5	90	15:33:47	15:36:42	130.892	-0.130	0.060
6	90	15:38:49	15:41:44	130.869	-0.130	0.060
7	90	15:43:51	15:46:46	130.894	-0.130	0.060
8	90	15:48:53	15:51:48	130.914	-0.130	0.060
$\varphi$ 均方差		$\theta$ 均方差		$\Phi$ 均方差		
0.0173		0.0000		0.0000		

表 3 本检测系统与基于转台的检测系统对比分析

项目	本检测系统	基于转台的检测系统
一次检测 IMU	4 台	1 台
检测方式	自动检测	手动操控
数据处理	自动分析、保存	手动处理
定位锁紧方式	精密端齿盘	机械或机电
设备体积	小	较大(双轴)
费用	较低	较高(双轴)

## 5 结语

本文利用分度台转位装置的锁紧稳定性强、分度精度和重复定位精度高的特点,为 IMU 提供测量基准角度位置,采用宽电压、宽电流输出可调的程控直流电源为 IMU 供电,通过工控机控制分度台转位装置、IMU 和程控直流电源(各 4 台)协调有序工作,上位机软件发送、采集和处理相关检测数据并实时显示、保存测量结果,实现了:(1)IMU 偏航角、俯仰角、和侧滚角的精度测量;(2)IMU 输出稳定性测量;(3)IMU 开机重复性测量;(4)IMU 耐压性能测量。同采用转台检测相比优点:(1)检测效率高,人工劳动量大大减小;(2)分度台锁紧稳定性更强、分度精度和重复定位精度更高;(3)设备体积小,成本投入大大降低。缺点:(1)IMU 俯仰角和侧滚角精度测量时需外加角度工装,测量相对繁琐。因此,该系统特别适用于俯仰角和侧滚角为  $0^\circ$  时 IMU 参数指标的测量,以及批量生产中的 IMU 参数指标预检。

## 参考文献

- 1 移动测量系统惯性测量单元.中华人民共和国国标 GB/T 2858 7-2012.
- 2 郭建军,彭书家,白洪梅,孙萍,尹君.弹载惯性测量单元检测系统的设计与实现.四川兵工学报,2014,35(4):15-18.
- 3 朱文发,柴晓冬,郑树彬,李立明,罗永建.基于 LabVIEW 的惯性测量单元信号采集及处理系统设计.计算机测量与控制,2012,20(6):1697-1698.
- 4 潘军,张诗楠,王晓.基于 VC++ 的多线程聊天程序的设计与实现.电脑知识与技术,2011,7(23):5642-5644.
- 5 王刚,孙娴.基于 VC 的多线程异步串行通信动态链接库设计.现代电子技术,2012,35(10):35-36.
- 6 王伟.基于 MFC 的多线程与串口通信.电子世界,2013,(4):106.
- 7 郭文龙.循环队列判队空或队满的一种新方法.电脑知识与技术,2011,7(14):3464-3465.
- 8 王鹏.基于 CAN 总线的 CRC 校验码的原理与实现.赤峰学院学报,2014,32(2):48-49.
- 9 李晓珍,苏建峰.循环冗余校验 CRC 算法分析及实现.中国科技信息,2010,(13):100-101.
- 10 郭宇,陈年生,方晓平.VS 环境下 PLC 实时数据采集系统中两种定时器的使用.湖北师范学院学报(自然科学版),2013,33(43):63-69.
- 11 傅瑶,韩诚山.多媒体定时器方法中 MFC 跨线程传递窗口类消息的实现.微型电脑应用,2014,30(6):5-7.