

# 适用于 SGT320E 型三轴多功能转台的多串口数据同步采集

张智刚, 罗锡文, 张亚娇, 单鹏辉, 胡 炼

(华南农业大学 南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642)

**摘要:** SGT320E 型三轴多功能转台是进行惯性传感器标定、惯性测量单元 (IMU) 和姿态航向参考系统 (AHRS) 性能测试的重要平台; 实现三轴多功能转台和待测负载设备的测试数据同步采集, 是使用三轴多功能转台面临的关键问题之一; 基于同步脉冲机制, 提出了转台与待测负载的数据同步输出的 3 种方法; 在对多线程串口通讯 CSerialPort 类进行改进的基础上, 使用 Microsoft Visual Studio 2005 集成开发环境, 开发了多串口数据同步采集软件程序; 以 XSENS 公司生产的 MTi 微型姿态航向参考系统作为待测负载设备, 综合运用信号发生器、USB 转多串口设备和笔记本电脑, 在三轴多功能转台上开展了系统测试; 在同步脉冲信号频率为 10 Hz 时, 软件程序采集得到的 4 路各 6 156 个数据保持了严格的时间同步, 这表明所提出的多串口数据同步采集方法适用于 SGT320E 型三轴多功能转台和待测负载设备的测试。

**关键词:** 转台; 同步; 数据采集; 多串口; 测试

## Synchronous Multi—Serial Data acquisition for SGT320E Three—axis Turntable Platform

Zhang Zhigang, Luo Xiwen, Zhang Yajiao, Shan Penghui, Hu Lian

(Ministerial Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** SGT320E three—axis turntable platform is widely used in the field of inertial sensors calibration and the performance testing of inertial measurement unit and attitude and heading reference system. In the application, one of the key issue is that how to achieve data synchronously from the three—axis turntable platform and the test device. Based on the synchronous pulse mechanism, three methods of synchronous data output were put forward. By improving the multithreading serial communication class CSerialPort and using Microsoft visual studio 2005 integrated development environment, application program was developed. Using MTi micro attitude heading reference system as the test device, synchronous data collection experiment was carried out on the SGT320E three—axis turntable platform together with a signal generator, a USB to serial port convert and notebook computer. Total 6156 data per channel were obtained from four serial ports by the development software at the sampling frequency of 10Hz. The total data from four channels were synchronous accurately according to the roll and pitch curves of the platform and the test device. The results indicated that the proposed synchronous serial port data acquisition method is feasible.

**Keywords:** Turntable; Synchronous; Data Acquisition; Multi—Serial ports; Test

## 0 引言

为确定惯性传感器在不同应用中的适应性, 需要对其进行评估测试, 以保证这些器件满足不同应用的性能要求。三轴多功能转台是进行惯性系统和器件测试的高精度设备, 利用三轴多功能转台可以实现惯性传感器多种性能指标的测定和误差系数的标定<sup>[1]</sup>。

实现转台与待测负载测试数据的同步采集, 是正确评估待测负载设备特性的关键, 是设计系统测试方案时需要考虑的重要问题。两台或者多台设备的测试数据同步采集, 涉及两个方面的问题: (1) 多台设备需要在同一时刻采样输出数据; (2) 多路数据的并行软件采集与保存。本文依托 SGT320E 型三轴多功能转台,

以 XSENS 的 MTi 微型姿态航向参考系统为待测负载设备, 研究了转台与待测负载测试数据的同步采集方法, 为 SGT320E 型三轴多功能转台的正确使用提供了有益的借鉴。

## 1 SGT320E 型三轴多功能转台简介

SGT320E 型三轴多功能转台是中国航空工业集团公司北京航空精密机械研究所设计制造的仿真测试设备, 由机械台体、电控系统及相互间的连接电缆组成<sup>[2]</sup>。

转台机械台体结构采用 U—O—O 结构, 即 U 形外框绕方位轴旋转, O 形中框绕俯仰轴旋转, O 形内框绕横滚轴旋转。三轴采用精密机械轴承支承, 均可连续无限旋转。外框轴为铅垂, 中框轴为水平, 内框轴绕中框轴可处于不同空间位置, 内框轴上有 16 个 M8 螺孔用于安装负载。底座安装有水平调整装置, 以保证台体安装的水平精度。台体总体结构示意图如图 1 所示。

转台电控系统以工业控制计算机为上位机, 以 DSP 轴角位置运算控制单元为下位机, 具有实时性强, 控制方式灵活等特点。工业控制计算机是电控系统的主要部分, 可实现转台的各种操作、数据输入输出、各功能模板的管理功能及转台故障

收稿日期: 2014-03-07; 修回日期: 2014-04-12。

基金项目: “十二五”科技支撑计划课题 (2011BAD20B06); 广东省高等学校科技创新重点项目 (cxzd1136)。

作者简介: 张智刚 (1977-), 男, 河南郑州人, 副教授, 主要从事农业机械自动导航技术, 精细农业方向的研究。

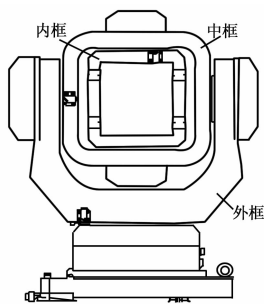


图 1 台体总体结构示意图

自动监测和安全运行的保障。三个轴系均由直流力矩电机直接驱动, 以光电增量角编码器作为轴系角位移反馈元件。

内嵌于控制计算机中的 DSP 运动控制模板是三轴运动控制核心, 它与各轴的驱动单元、运动机构、轴角测量反馈单元构成位置闭环系统, 实现三轴的运动控制。

转台在本机控制方式下, 具有速率模式、位置模式和正弦摆动模式, 可为待测负载提供多样化的仿真测试环境。为防止转台在非正常状态下运行, 每个运动轴都具有过流保护, 超速保护和 DSP 运动超差保护等功能。所有这些措施, 确保了用户使用转台的安全性和转台运行的可靠性。

## 2 转台与待测负载的数据同步输出方法

为实现转台和待测负载数据的同步采样输出, SGT320E 型三轴多功能转台提供了外同步功能, 用户只需将一定频率的方波或者脉冲信号 (5V) 输入转台的外同步信号输入引脚 SyncIN, 转台就可在方波或者脉冲上升沿触发驱动, 分别从 3 个 RS232 串口以二进制形式输出转台 3 个轴框的实时位置和角速度信息。若要实现该转台与待测负载的数据同步输出, 对于待测负载来说, 也应具备同步输入输出功能, 并配备相应的同步输入和输出 SyncIN 和 SyncOUT 引脚; 若待测负载不能提供同步输入输出功能, 则需要第三方数据采集 PC 机产生同步信号。于是, 形成如下 3 种转台与待测负载的数据同步输出方法, 见图 2。

方案 1 适合待测负载有同步输入信号引脚的情况。可由信号发生器提供同步方波或者脉冲信号, 信号幅值、频率和占空比应能同时满足转台和待测负载对同步信号的规格要求。方案 2 适合待测负载仅有同步输出信号引脚的情况。待测负载在实时输出每帧串口数据的同时, 输出同步脉冲信号到转台 SyncIN 引脚, 以激活驱动转台同时输出三轴位置速率数据, 实现转台和待测负载的同步输出。方案 3 适合待测负载没有同步输入输出功能的情况。在这种情况下, 用户可编写 PC 机数据采集程序在接收到 1 帧待测负载串口数据的同时, 输出同步脉冲信号到转台, 实现转台的同步输出。方案 3 存在的问题是, 普通 PC 机输出符合规格的脉冲信号比较困难, 且 PC 机在数据采集程序运行过程中输出的同步信号可能存在不同程度的延迟, 严格意义上的多设备同步输出难以保证。

## 3 多串口数据并行采集程序开发

从前述方案看, 完成转台和待测设备的串口数据采集至少需要 4 路 RS232 串口通道。利用单片机搭建的计算机系统由于硬件资源配置有限, 往往难以提供 4 路以上的串口通道。基于 ARM 架构等微处理器的嵌入式计算机系统虽然在硬件配置

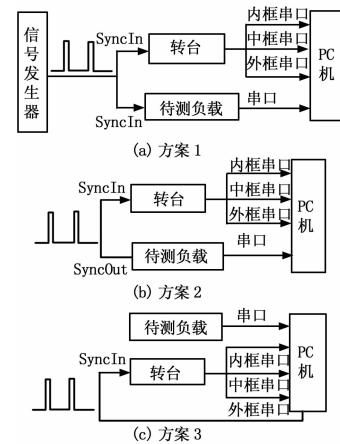


图 2 转台与待测负载的数据同步输出方法

上一般也可以提供或者方便扩展出多于 4 路以上的串行接口, 片上外设的 DMA 通道也为大数据量的串行传输提供了优越的条件, 但是开发难度较大, 且不利于用户操作。因此, 多串口数据同步采集程序的运行平台仍选用基于 Windows32 操作系统的 PC 机。由于 PC 机串口资源有限, 利用 USB 转多串口设备扩展出多路串口进行数据并行采集。

### 3.1 多线程串口通讯类 CSerialPort 的改进

本文用到的 CSerialPort 类是由 Remon Spekrijse 提供的免费串口通讯类<sup>[3]</sup>, 该类是基于多线程的、且串口的 I/O 操作是异步方式的, 因此非常适合多串口数据的并行采集<sup>[4]</sup>。

该类提供的主要公有成员函数包括: BOOL InitPort (); BOOL StartMonitoring (); BOOL RestartMonitoring (); BOOL StopMonitoring (); BOOL CloseComm () 等。InitPort 函数主要完成串口初始化。StartMonitoring 函数用于为该串口类创建一个监测串口事件的工作者线程, 由 MFC 类库封装的 AfxBeginThread 函数完成创建, 而工作者线程的具体工作则由类保护成员函数 CommThread 执行完成。工作者线程 CommThread 主体是一个无限循环体, 在循环体内, 主要通过 WINAPI WaitCommEvent 函数监测串口读、串口写和串口关闭事件, 其中写事件和关闭串口事件是在主线程中标记相应事件对象产生的, 是可程序控制的; 而串口读事件则在串口接收到数据时自动产生, 是一种硬件机制。

在串口数据采集过程中, 程序主要通过串口读操作完成任务。当 WaitCommEvent 函数探测到串口读事件以后, 会调用 BOOL ReadFile 函数读取指定数量的串口数据, 并保存至指定的接收数据缓冲区当中, 同时返回本次读串口操作实际读入的字节数。如果串口句柄 hFile 在串口初始化时没有指定 FILE\_FLAG\_OVERLAPPED 标志, 即设为重叠方式, 则 ReadFile 函数会堵塞主叫线程, 直到读完设定的待读字节数之后才返回 TRUE; 如果串口句柄 hFile 在创建时指定了 FILE\_FLAG\_OVERLAPPED 标志, 即设为非重叠方式, 则 ReadFile 函数会在指定的读操作未完成时就返回 FALSE, 并设置错误标志 ERROR\_IO\_PENDING。此时, 需调用 WINAPI GetOverlappedResult 函数来完成本次 ReadFile 读操作, 该函数本质上是通过调用 WaitForSingleObject 函数阻塞线程完成本次操作的同步的<sup>[5]</sup>。一旦线程完成本次读操作, 会通过 SendMessage 函数向用户界面线程发送 WM\_COMM\_RXCHAR 消息, 通

知用户界面线程到串口读缓冲区读取数据。

在原始的 CSerialPort 类中, ReadFile 函数每次读取 1 个字节的数... 效率是比较低的。文献 [6] 对其修改后, 可以根据实际用户需要接受多少个字符, 一次性地读出来, 然后通知用户界面线程处理。但是这种设置对于串口设备发送变长数据帧缺乏灵活性, 特别是在对变长数据帧进行截断处理时, 会造成不小的麻烦。在 SGT320E 型三轴多功能转台的多串口数据同步采集过程中, 转台和待测负载会在信号发生器发出的周期性脉冲信号上升沿同步输出串口数据, 其发送频率是周期性的。在两帧连续的串行数据之间, 会存在短暂的时间间隔没有数据传送, 间隔大小取决于脉冲信号的周期, 与数据传输的波特率和数据帧的长度也有一定的关系。如果从一个串口通讯设备读入数据, ReadFile 函数一般会等到要求的字节数都到达后才返回。SetCommTimeOuts 函数可以强制 ReadFile 函数只读到较少的字节数就返回[4]。这也就是说, 设置 COMMTIMEOUTS 结构的任意相邻连个字符之间的超时参数 ReadIntervalTimeout 后, 当串行数据线没有传送数据的时间超过设定值后, 即使 ReadFile 函数没有读完要求的字节数, 也会立即返回。此时, ReadFile 函数恰恰读完了一帧完整的数据。本文在文献 [6] 的基础上, 进一步在 CSerialPort 类中引入了超时机制, 增加了类成员变量 m\_RThreshold 保存待读取字节数, 设置了超时参数 ReadIntervalTimeout, 并对 SendMessage 函数进行修改, 使其能够向用户界面线程发送串行端口号和实际读取字节数。为了方便程序退出, 增加了类成员函数 ExitMonitoring 以实现工作者线程的正常退出。

### 3.2 应用程序主界面及功能结构

基于改进的多线程串口通讯类 CSerialPort, 利用 Microsoft Visual Studio 2005 集成开发环境, 开发了 SGT320E 型三轴多功能转台的多串口数据同步采集程序。该应用程序主要划分成 4 个功能模块, 包括多串口设置、串口数据接收、串口数据保存和系统退出, 如图 3。

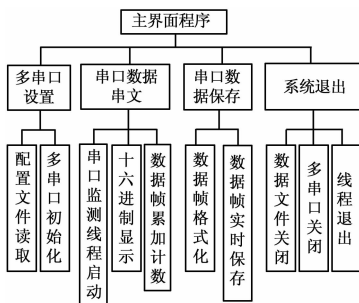


图 3 应用程序的功能结构

由于该软件涉及的工作串口比较多, 逐一在主界面上设置相关参数会使界面操作复杂化, 因此采用配置文件的方式来对各路工作串口进行设置。操作人员可预先将工作串口参数按规定格式保存在一个文本文件中, 并存放在规定的路径下。程序启动后, 开始数据采集前, 会先按规定格式从配置文件中读取各路串口设置参数, 并对各路串口进行相应的初始化设置。操作人员需要调整串口设置参数时, 修改该配置文件即可。配置文件格式如下:

COMM1,13,115200,N,8,1,512,512,30,INN \*

COMM2,19,115200,N,8,1,512,512,30,MID \*

COMM3,20,115200,N,8,1,512,512,30,OUT \*

COMM4,21,115200,N,8,1,512,512,30,AHRS \*

以第一行为例说明, 第 1 路串口的端口号是 13, 波特率 115 200 bps, 没有奇偶校验, 8 位数据位, 1 位停止位, ReadFile 每次待读取字节数为 512, 发送缓冲区大小为 512 字节, 相邻两个字符之间的超时参数为 30 ms, INN 表明该路串口所接收数据的内容标识, 无实质意义, \* 为该路串口配置参数的结束符。

用户界面线程会对每路接收到的串口数据帧进行累计计数, 并实时显示在主界面上。理想情况下, 各路串口的累加计数应该是相同的。用户通过主界面设置 4 路工作串口数据文件的保存路径。当用户需要开始数据采集或者再次启动被停止的挂起线程以重新开始数据采集时, 需点击开始采集按钮。程序会判断各路串口数据保存文件的存放路径是否设置、文件是否创建和打开、串口是否完成初始化等情况, 然后打开串口或者使用 RestartMonitoring 函数再次启动串口监测线程。当用户需要退出软件系统时, 需点击关闭按钮。程序会判断数据文件是否关闭, 若没有关闭则关闭之; 然后判断串口监测线程是否处于激活状态, 若是则通过设置 ShutdownEvent 事件通知串口监测线程退出; 最后, 关闭串口, 系统调用 CDialog:: OnCancel () 函数关闭主界面正常退出。

## 4 应用程序测试

依照前述方案 1 对该应用程序进行测试。选择荷兰 XSENS 公司生产的 MTi 微型姿态航向参考系统作为待测负载设备。该设备内部包括 3D 速率陀螺、3D 加速度计和 3D 磁场感应计。运行于 DSP 上的 Kalman 滤波算法融合上述传感器信息, 给出运动载体的精确 3D 姿态角度, 并通过 RS232 串口以设定二进制格式由同步脉冲激发输出[7]。选择信号发生器产生周期性脉冲信号, 考虑到转台和 MTi 设备对同步脉冲信号的规格要求, 设定其幅值为 5 V, 占空比为 14%, 周期为 100 ms。通过转台控制软件设定转台内外框为正弦摇摆运动方式, 摇摆幅值 10 度, 摇摆频率 0.6 Hz。选择 MOXA 1400 系列 USB 转 RS232 串口设备用于扩展笔记本电脑的物理串口, 该系列设备可以实现从 1 路 USB 主接口扩展出 4 路物理的 RS232 串行通道。选择串行通道 1 接收内框数据、串行通道 2 接收中框数据、串行通道 3 接收外框数据, 串行通道 4 接收 MTi 数据。具体测试步骤如下:

- (1) 测试准备, 包括 MTi 固定、转台滑环导线连接、同步脉冲信号线连接、MOXA USB 转串口设备连接等;
- (2) 在笔记本电脑上编辑好串口配置文件, 运行数据采集应用程序;
- (3) 上电 MTi 微型姿态航向参考系统;
- (4) 上电转台, 通过转台控制软件设定各框工作参数, 并启动运转;
- (5) 上电信号发生器, 输出同步脉冲信号 (此时 MTi 开始周期性输出自身姿态角数据, 但转台尚未输出三轴位置和角速率数据);
- (6) 点击转台控制软件“功能管理”菜单的“外同步方式启动”子菜单, 启动转台外同步输出;
- (7) 点击数据采集软件的“开始采集”按钮, 启动数据同步采集。

(8) 采集结束, 点击“停止采集”和“关闭”按钮关闭系统。

测试结束后, 观察各路串口采集次数, 分别为: 6 157, 6 157, 6 157, 6 156。这表明: 采集时长约为 615.7 s, 采集到的转台数据比 MTi 数据多 1 组。可能的原因是: 串口初始化和启动监测线程是按串行通道 1、2、3、4 的顺序依次进行的, 当 1、2、3 串口初始化和启动监测后, 第 4 路串口数据恰好到达, 此时应用程序还未完成串行通道 4 的初始化和启动监测线程工作, 那么 1、2、3 路数据能够正常接收, 但第 4 路数据就会丢失。对保存下来的原始数据, 需舍去 1、2、3 串口采集多出来的第一组数据。利用 MATLAB 软件, 对调整后的数据文件进行处理和曲线图绘制, 得到如图 4 (a)、(b) 所示结果。

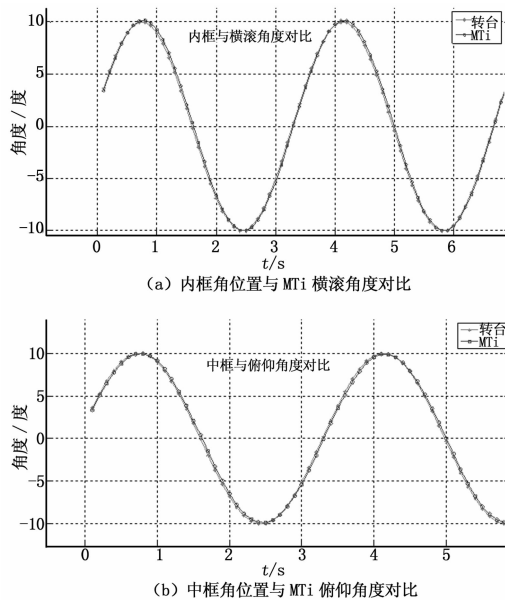


图 4 转台角位置与 MTi 姿态角对比结果

由图 4 (a)、(b) 可知, MTi 输出角度曲线与转台输出角度曲线具有较高的相似度, 同时刻, MTi 输出角度略滞后转台输出角度, 显示出 MTi 系统测量的动态响应特性。测试数据验证了本文所提测试方法的有效性, 证明该应用程序运行稳定、可靠。

## 5 结论

实现 SGT320E 型三轴多功能转台和待测负载设备测试数据同步采集的关键问题包括两个方面: (1) 两者能够在同一时刻输出测试数据; (2) 多路串口测试数据能够由应用程序并行采集和对应保存。本文提出了基于脉冲同步机制的转台与待测负载数据同步输出的方法, 用于解决第一个问题; 基于改进后多线程串口通讯 CSerialPort 类, 开发了多串口数据采集程序, 较好地解决了第二个问题。试验测试结果表明, 本文所提出的多串口数据同步采集方法适用于 SGT320E 型三轴多功能转台和待测负载设备的测试。

### 参考文献:

- [1] 谭志斌, 赵祚喜, 张霖, 等. MEMS 惯性传感器的三轴转台实验研究 [J]. 电子测量技术, 2012, 35 (4): 110-115.
- [2] SGT320E 型三轴多功能转台使用维护说明书 [Z]. 中国航空工业集团公司北京航空精密机械研究所, 2011.
- [3] Remon Spekrijse. A communication class for serial port [EB/OL]. <http://www.codeguru.com/Cpp/I-N/network/serialcommunications/article.php/c2483>, 2000.
- [4] 张源, 卞鸿巍. 组合导航计算机高效多串口通讯技术实现 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (6): 1163-1165.
- [5] 张鸿超, 张宏林, 等. Windows API 函数参考手册 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002.
- [6] 王艳伟, 程放, 周玉成. 多线程 CSerialPort 类的多串口通信实现 [J]. 木材加工机械, 2012, 2: 1-4.
- [7] MTi and MTx User Manual and Technical Documentation [Z]. Xsens Technologies B. V. 2009.

\*\*\*\*\*

(上接第 2261 页)

### 参考文献:

- [1] Jeffrey D, Ghemawat S. MapReduce: simplified data processing on large clusters [J]. Communications of the ACM, 2008, 51 (1): 107-113.
- [2] Ghemawat, Sanjay, Gobiolf H, Leung S T. The Google file system [J]. ACM SIGOPS Operating Systems Review. ACM, 2003, 37 (5).
- [3] Chang, Fay, et al. Bigtable: A distributed storage system for structured data [J]. ACM Transactions on Computer Systems (TOCS), 2008, 26 (2): 4.
- [4] 武海平, 余宏亮, 郑纬民, 等. 联网审计系统中海量数据的存储与管理策略 [J]. 计算机学报, 2006, 29 (4): 618-624.
- [5] 崔杰, 李陶深, 兰红星. 基于 Hadoop 的海量数据存储平台设计与开发 [J]. 计算机研究与发展, 2012, 49 (s1): 12-18.
- [6] 刘树仁, 宋亚奇, 朱永利, 等. 基于 Hadoop 的智能电网状态监测数据存储研究 [J]. 计算机科学, 2013, 40 (1): 81-84.
- [7] Zeng W Y, et al. Research on cloud storage architecture and key technologies [A]. Proceedings of the 2nd International Conference on Interaction Sciences: Information Technology, Culture and Human [C], ACM, 2009.
- [8] Grossman, Robert L, et al. Compute and storage clouds using wide area high performance networks [J]. Future Generation Computer Systems 25. 2 (2009): 179-183.
- [9] Mark W. Storer Kevin Greenan Darrell D. E. Long Ethan L. Miller. Secure Data Deduplication [A]. StorageSS' 08 [C], October 31, 2008, Fairfax, Virginia, USA. 2008, 1-10.
- [10] 童晓渝, 张云勇, 房秉毅, 等. 大数据时代电信运营商的机遇 [J]. Science, 2013, 3: 4.
- [11] 汤羽, 王英杰, 范爱华, 等. 基于 HDFS 开源架构与多级索引表的海量数据检索 mDHT 算法 [J]. 计算机科学, 2013, 40 (2): 195-199.