

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2021.04.06

# 基于 RTX 的角度编码器信号实时采集设计

任海燕, 廖建平, 肖述晗, 吴帅, 尹晓丽

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

**摘要:** 在惯性测试设备控制系统设计中, 角度编码器信号实时采集的设计是实现惯性测试设备角位置和角速率高精度控制的关键。区别于基于硬件实时采集的开放性差且电路复杂的方法, 本文基于 RTX + Windows 系统平台进行实时采集。通过设计基于 RTX 的角度编码器信号实时采集硬件方案及接口驱动程序, 实现了对惯性测试设备角位置的实时采集, 并将该方法成功应用于转台角位置实时采集, 有效满足对转台的实时控制要求。

**关键词:** 惯性测试设备; RTX; 角度编码器; 实时采集; 接口驱动程序

**中图分类号:** TB971

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5795(2021)04-0028-04

## Design of Angle Encoder Signal Real Time Acquisition Based on RTX

REN Haiyan, LIAO Jianping, XIAO Shuhan, WU Shuai, YIN Xiaoli

(Changcheng Institute of Metrology &amp; Measurement, Beijing 100095, China)

**Abstract:** In this paper, the real-time acquisition of angle encoding signal based on RTX is studied with inertial testing equipment as the object of application. In the design of inertial testing equipment control system, the design of angle encoder signal real-time acquisition is the key to realize the high-precision control of angular position and angular rate of inertial test equipment. Different from the method of poor openness and complex circuit based on hardware real-time acquisition, this paper carries out real-time acquisition based on RTX + Windows system platform. The hardware scheme and interface driver of real-time acquisition of angle encoder signal based on RTX are designed to realize the real-time acquisition of angular position of inertial testing equipment. The method is successfully applied to the real-time acquisition of the angular position of the turntable, and meets the real-time control requirements of the turntable.

**Key words:** inertial testing equipment; RTX; angle encoder; real-time acquisition; interface driver

## 0 引言

国内惯性测试设备的角度编码器信号采集通常以单片机或 DSP + FPGA 作为系统的控制核心<sup>[1-2]</sup>, 属于采用硬件电路实现, 但使用硬件电路时接口电路复杂, 开放性差, 不能实现系统的可互换性。

为实现惯性测试设备高精度伺服控制, 不仅需要良好的用户界面便于用户使用, 更要具有良好的实时性能, 以保证数据的实时采集和实时发送。Windows 是比较常见的操作系统, 人机交互界面良好, 但当打开程序平台太多时, 会出现定时不准现象, 难以满足对实时性要求较高的系统需求<sup>[3]</sup>。RTX 操作系统是美国 Ardenne 公司开发的实时子系统, 用于 Windows 平台, 不仅具有较强的实时性, 而且具有较好的稳定性及可扩展性<sup>[4-5]</sup>。本文基于 RTX + Windows 系统平台进行角度编码器信号的实时采集研究。

RTX + Windows 系统平台是在 Windows 系统基础上

拓展实时子系统 RTSS<sup>[6]</sup>, 该平台不仅继承了原有 Windows 操作系统的优点, 而且提高了系统实时性, 使线程间切换时间极大地缩短。RTX + Windows 系统平台也是目前 Windows 平台上唯一基于软件的硬实时解决方案<sup>[7-8]</sup>。

## 1 角度编码器信号实时采集硬件方案

本文以单轴转台为应用对象。单轴转台主要由三部分组成: 台体、采集及控制系统和计算机系统。台体为立式结构; 采集及控制系统用于实时采集转台角位置并控制台体按照指令进行回转运动; 计算机系统主要为工控机, 用于采集数据及发送指令<sup>[9]</sup>。

该单轴转台控制系统要求根据给定的指令, 通过计算机系统生成控制律, 通过 DA 卡作用于驱动器, 从而控制电机, 其中采集的角度编码器信号用于转台角位置反馈, 实现对转台角位置的闭环控制。

### 1.1 关键元部件选型

由于单轴转台控制系统为闭环系统，需要角度编码器信号作为反馈元件，修正位置指令与反馈位置的误差。因此角度编码器的精度直接影响了系统的位置精度。

相较于相对编码器，绝对编码器抗干扰能力强，用于控制系统更可靠。其中德国 HEIDENHAIN 公司绝对式光栅编码器性能较强、可靠性高，并且重复性好。该编码器可输出 ENDAT, 1V<sub>pp</sub> 等信号，其中 ENDAT 协议输出绝对位置编码数据。

HEIDENHAIN 计数卡 IK220 是一个基于 PCI 的 PC 计算机扩展卡，用于记录绝对式角度编码器测量值<sup>[10]</sup>，与 HEIDENHAIN 绝对编码器配套使用，对模拟信号的细分倍数高，准确度高且实时性强，对实现基于软件的硬实时采集具有重要作用。

### 1.2 实时采集硬件方案

该单轴转台控制系统通过 IK220 计数卡实时采集转台角度编码器信号，并通过 RTX 系统实时驱动 IK220 计数卡，实时读取角位置数据。

系统硬件方案如图 1 所示，系统根据实时读取的角位置数据及位置指令，设计控制算法得到实时控制律，从而对该单轴转台进行高精度控制。控制策略采用位置环和电流环双闭环，其中位置环采用经典数字 PID 算法。角度编码器信号的采集及控制均通过下位机实现。

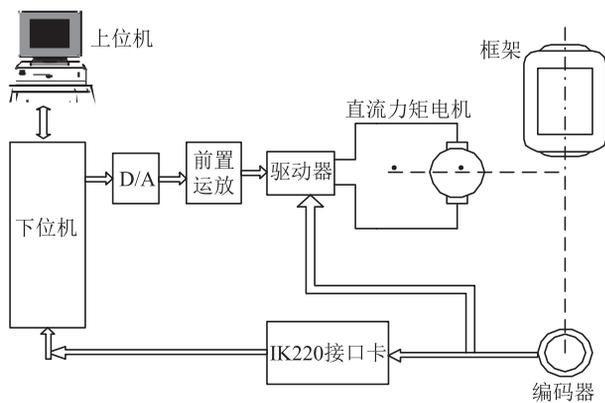


图 1 单轴转台系统硬件方案图

## 2 基于 RTX 的 IK220 接口驱动程序设计

由于 Windows 系统是非实时系统<sup>[11]</sup>，故 IK220 针对 Windows 系统的驱动程序，不能满足单轴转台控制实时性的需求。故研究基于 RTX 的 IK220 接口驱动程序设计，实时采集角度编码器测量位置值，进而实现

单轴转台位置和速率的高精度控制。

### 2.1 RTX 驱动模型

RTX 实时线程的调用机制是独立的，且 RTSS 线程优先级高于 Windows 线程，可直接访问 I/O 设备。同时，RTSS 支持通过共享内存、事件和信号量等实现与非实时进程的通讯<sup>[12]</sup>。

本系统中驱动程序用于完成硬件和控制软件的数据和信息的交互。与常用 Windows 系统下的驱动程序<sup>[13-14]</sup>相比，RTX 驱动程序是开放的，可以通过 RTX 函数直接访问外部硬件，操作方便快捷。在 RTX 下，PCI 设备和 RTX 基本内核位于驱动底层，RTX 内核可以通过 I/O 和中断方式与 PCI 设备进行数据交换<sup>[1]</sup>，提高设备的实时性能，RTX 定时精度可达 0.1 μs。RTX 应用程序由 Visual Studio 建立，使用 RTX Driver Wizard 生成驱动程序框架，生成的文件类型是“rtss”。

驱动程序设计主要包括设备初始化、物理地址的映射、基本的控制操作以及检测处理设备错误等。基于 RTX 驱动程序框图如图 2 所示。

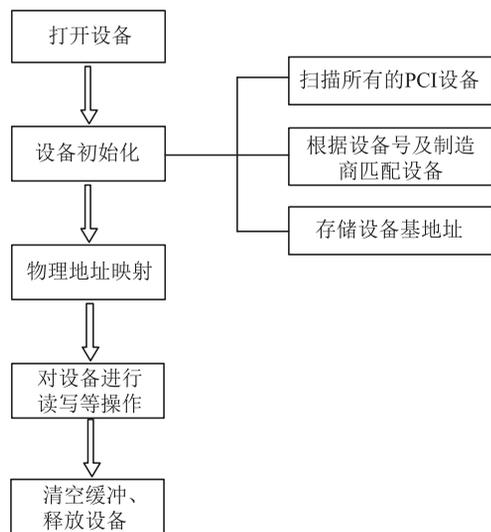


图 2 基于 RTX 驱动程序框图

### 2.2 IK220 接口驱动程序设计

IK220 卡是 PCI 总线形式计数卡，内部寄存器采用内部映射方式，板卡的制造商号和设备号分别为 0X10B5 和 0X9050。目前 HEIDENHAI 公司只提供 Windows 下和 LINUX 下的软件开发包，无法用于实时控制领域中的数据采集。本文通过研究 IK220 卡的采集原理，实现基于 RTX 的 IK220 接口驱动程序。

与其他板卡不同，IK220 板卡上电后，需要下传 DSP 固件代码，开始启动板卡操作。IK220 具有 16 个 16 位寄存器，其中控制寄存器用于设置板卡工作模式，

命令寄存器用于控制板卡、读写数据等操作, IK220 通过上述寄存器与板上 DSP 处理器进行通讯, DSP 根据指令再进行相应控制。基于 RTX 的 IK220 接口驱动程序流程图如图 3 所示。

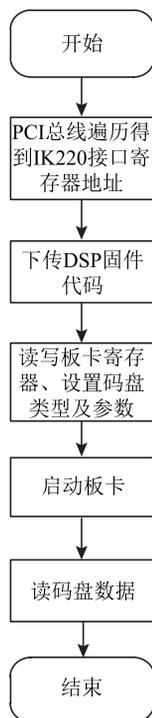


图3 IK220 接口驱动程序流程图

程序设计主要包含以下内容:

1) 寻找匹配设备。首先寻找所有的 PCI 设备, 通过设备号和制造商获取 PCI 板卡的基地址, 为对设备操作做准备。其中 `RtGetBusDataByOffset()` 函数可获取 PCI 板卡配置空间<sup>[15]</sup>。

```

RtGetBusDataByOffset( PCIConfiguration,
uBusNum,
SlotNumber. u. AsULONG. //logical slot number
PciData,
uOffset,
PCI_COMMON_HDR_LENGTH);
  
```

2) 将设备的物理地址映射为系统地址。驱动程序只有将设备物理地址转换成系统映射地址, 才可以实现对设备的操作。其中 `RtTranslateBusAddress()` 函数用来将 PCI 板卡寄存器基地址转换为系统映射地址, `RtMapMemory()` 函数的作用是将 PCI 板卡内存映射地址赋予指针变量, 对板卡操作可通过该指针变量实现<sup>[10]</sup>。

```

RtTranslateBusAddress( PCIBus, BusNum, PortAdd,
&AddSpace, &uPortAdd);
  
```

```

BaseAddress = RtMapMemory(uPortAdd, 4 * 1024, 0);
3) 设备基本操作, 包括 IK220 初始化、IK220 启动及停止、读写寄存器、读写数据等。由于地址映射到 I/O 空间, 可对设备直接进行操作。
  
```

```

* pData = * (PortBase[ Axis] + Adr);
//Read word value from register to pData
* (PortBase[ Axis] + Adr) = Data;
//Writes Data to Axis at Adr
  
```

### 3 单轴转台角位置实时采集结果

为了验证基于 RTX 的 IK220 接口驱动程序的有效性, 在单轴转台控制系统中进行角位置的多位置采集测试。手动转动转台角度, 若采集角位置结果与转动角位置结果一致, 则证明驱动程序各部分函数都能实现。

为了验证角位置实时采集效果, 需对转台进行角位置精度检测以及转台动态性能检测, 在 RTX 实时系统中, 设置定时精度为 1 ms。角位置精度检测方法参照 GJB 1801 - 93《惯性技术测试设备主要性能试验方法》中方法 104《角位置测量试验》, 角位置精度检测结果为  $\pm 2''$ 。转台动态性能检测中, 位置指令设置为幅值  $0.2^\circ$ , 频率为 1 Hz 的正弦信号, 位置指令和实际角位置采集结果如图 4 所示, 从图 4 中可看出, 实时角位置与指令结果一致, 幅值误差小于 0.5%。

以上检测结果表明, 本文设计的基于 RTX 的角度编码器信号实时采集系统满足对转台的实时控制要求, 并且性能结果满足实际工程需求。

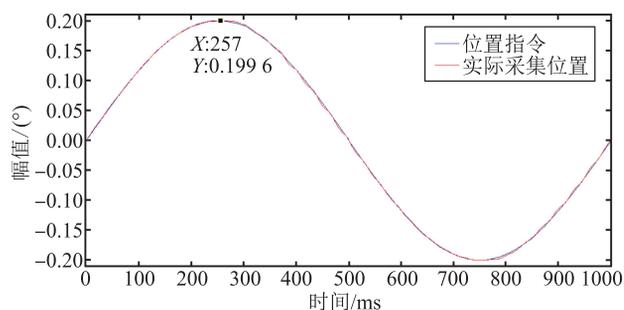


图4 角位置指令与采集实时位置

### 4 结语

以惯性测试设备为应用对象, 设计了基于 RTX 的 IK220 接口驱动程序, 并成功应用于单轴转台控制系统, 实现单轴转台基于 RTX 的角度编码器信号实时采集, 为实现单轴转台的位置和速率高精度控制奠定基

础。本文的设计方法可进一步应用于惯性测试设备控制系统的其他 PCI 接口板卡的实时驱动,从而提高了对惯性测试设备控制系统的控制性能。

### 参 考 文 献

- [1] 刘晓川, 王海涛. RTX 技术及其在实时仿真系统中的应用[J]. 舰船电子工程, 2001(6): 35-38.
- [2] 单勇. 实时半实物仿真平台关键技术研究[ D ]. 国防科学技术大学, 2010.
- [3] 黄键, 宋晓, 薛顺虎. RTX 平台下实时仿真系统的设计方法[J]. 计算机应用与软件, 2009, 26(4): 167-169.
- [4] 任海燕, 金挺, 董青华. 单轴测试转台控制系统设计[J]. 计测技术, 2019, 39(2): 30-34.
- [5] 德国海德汉. User's Mannul IK220 PC Counter Card for HEIDENHAIN encoders[Z]. 2011.
- [6] 张李超, 韩明, 董场斌, 等. Windows NT 的实时性研究[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(5): 41-42.
- [7] 夏红伟, 凌明祥, 曾庆双, 等. 基于 RTX 的卫星姿轨控系统地面实时仿真系统[J]. 计算机仿真, 2006(9): 40-42.
- [8] 吕瑛, 陈怀民, 吴成富, 等. RTX 环境下某智能串口卡的驱动开发[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(5): 761-764.
- [9] 付文芳, 张焱萍. RTX 下 PCI9052 驱动程序的开发[J]. 科技广场, 2006, (8): 97-100.
- [10] Ardence. RTX Help Documents[Z]. 2007.

收稿日期: 2020-12-09

基金项目: 国家“十三五”技术基础科研项目(JSJL2015205A005)

引用格式: 任海燕, 廖建平, 肖述晗, 等. 基于 RTX 的角度编码器信号实时采集设计[J]. 计测技术, 2021, 41(4): 28-31.