

# 网络版过程数据采集与分析软件的研究和应用

王春辉,曲晓伟,王明玥,韩松,李腾

(天津电气科学研究院有限公司,天津300180)

**摘要:**为提高变频器产品调试和故障监控分析能力,提出了网络版过程数据采集与分析软件设计方案,论述了软件系统的组成以及实现方式,提出了多线程、虚拟内存、绘图类库、高速光纤同步等技术手段用以解决系统运行技术难题。此软件系统经过现场应用表明,系统运行稳定,具有低成本、多通道传输、低采样周期、高数据精度、图形功能丰富、可扩展性强等特点。

**关键词:**调试和监控;过程数据采集和分析;多线程;绘图

**中图分类号:**TM28 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqed24662

## Research and Application of Network Process Data Acquisition and Analysis Software

WANG Chunhui, QU Xiaowei, WANG Mingyue, HAN Song, LI Teng

(Tianjin Research Institute of Electric Science Co., Ltd., Tianjin 300180, China)

**Abstract:** In order to improve the debugging and fault monitoring and analysis capabilities of inverter products, the design scheme of network version process data acquisition and analysis software was proposed. The composition and implementation of the software system were discussed, and the technical means such as multi-thread, virtual memory, drawing class library and high-speed fiber synchronization were proposed to solve the technical problems of system operation. The field application of this software system shows that the system runs stably, has the characteristics of low cost, multi-channel transmission, low sampling period, high data accuracy, rich graphics functions, and strong scalability.

**Key words:** debugging and monitoring; process data acquisition and analysis; multi-thread; drawing

过程数据采集分析软件系统被广泛应用于能源、交通、冶金等关键领域,能够实现对现场生产设备内部过程数据实时快速采集与显示、历史数据存储和图形显示,数据精度高,存储量大,满足现场设备调试和状态监控两大需求。当设备发生故障时,可对历史数据进行分析以及故障定位,从而方便设备维护,降低故障处理时间,给现场生产带来不可估量的隐性效益。

当前国外厂家已经开发出成熟的数据采集系统,包含采集模块以及监控分析软件系统。国内还没有成熟的采集分析软件产品,有的厂家会研发适用于自己设备的过程数据采集分析软件,提高产品的竞争力。

开发数据采集软件存在3个难题:1)通信速度、同步性、稳定性;2)大数据量快速的存储和访问且不影响系统执行效率;3)复杂的绘图架构,

满足故障分析的要求。上述3个问题是开发数据采集系统必须要解决的问题。

本文论述的数据采集分析软件系统不需要增加专门的采集硬件,所有工作都通过软件完成。软件分上位机软件和设备软件两部分。上位机软件负责数据接收、大数量存储分析、负载处理、复杂图形绘制等工作。设备软件负责数据采集、数据转发、数据同步处理等工作。该系统解决了现场设备对调试和故障监控的基本需求,降低了设备调试成本,提高了数据精度,复杂的图形分析能力基本达到了国内外先进水平,可扩展性强。

## 1 系统设计

网络版数据采集系统由上位机软件、变频器设备软件以及以太网网络组成。系统架构图如

**基金项目:**天津电气院创新基金项目(YF2022ZL003)

**作者简介:**王春辉(1986—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为软件研发,Email:glamourweh@126.com

图1所示。上位机软件使用标准以太网通过交换机连接到各个设备单元的控制单元上,设备个数不受限制,设备内部数据运行周期可以不相同。为控制整体负载,目前单一设备控制通道数为32,最低采样周期1 ms,单点数据采用16位定点模式,系统整体最多480通道,通道可为模拟量,也可以为数字量。

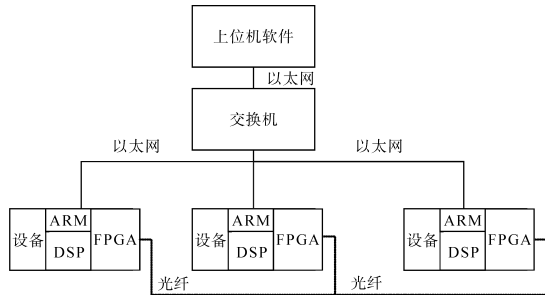


图1 软件系统框架

Fig.1 Software system architecture

上位机软件负责网络数据接收对齐、丢包异常处理、数据时间处理、协议解析、数据存储压缩及多通道图形绘制,且同时支持实时数据刷新以及历史数据分析。

设备控制器高级精简指令集处理器(advanced RISC machine, ARM)负责与上位机网口通信,将设定的通道数据转发给上位机。设备控制器数字信号处理器(digital signal processing, DSP)负责按设备运行周期采集原始数据,并存入设备现场可编程门阵列(field programmable gate array, FPGA)采样缓存。设备控制器FPGA负责按过程数据采集(process data acquisition, PDA)系统设定的采样周期从采样缓存中采集数据并转发ARM,使用光纤将多台设备连接,用以实现多设备间时钟同步。

## 2 上位机软件设计

上位机软件使用MFC设计开发<sup>[1-2]</sup>,具有良好的用户界面,稳定高效,同时具备示波器和图形分析功能,其中示波器支持480通道,单台设备最多32通道,最多同时显示32条曲线。支持配置、启动、暂停、停止、压缩显示和滚动显示、自动存储文件、数据压缩、标么值和实际值切换、虚拟通道、基本图形操作、绘图模式切换、保存图片等功能。图形分析仪支持打开和链接文件、框选缩放、滚轮缩放、移动图形、双游标、图例、设置坐标范围、缩放信息回退、双向滚动条、3种绘图模式、可编辑函数、大数量摘点等功能。

为实现数据采集系统整体目标以及现场应用价值,需要克服组网监控、大数量负载、数据存储压缩、图形绘制等诸多难题。

采用标准以太网用户数据报协议(user datagram protocol, UDP),在局域网内,自动识别不同设备,统一数据传输格式,自动处理网络中数据通信周期偏差、数据丢失等异常。采用特殊的线程任务调度,配合网络驱动、中间缓存、虚拟缓存等技术手段,使系统可以同时处理数据通信、文件存储、数据压缩和解压缩、图形数据分析等操作,保证软件流畅稳定运行。采用虚拟缓存技术,加快了数据的存储和访问,可实现长时间数据图形显示以及文件存储。数据接收处理流程如图2所示。

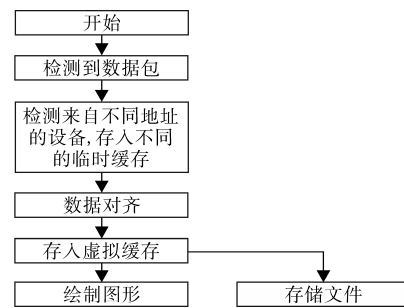


图2 上位机数据处理流程

Fig.2 Data processing flow for PC software

采用独特的绘图架构,将轴、线、剪裁区、显隐、图例、游标、缩放、分屏、布局等因变量实例化,利用不同类的相互作用和关联,从而产生不同的使用效果,并且具有非常强大的可扩展性。采用多层次数据比较算法,保证大数据量,长时间满屏波形显示时,波形不失真并且实际计算负载增加不大。实际效果如图3~图5所示。

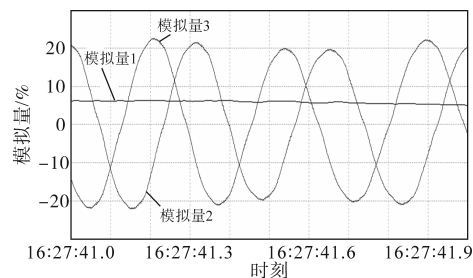


图3 单屏模式

Fig.3 Single screen mode

单屏模式将所有曲线绘制于相同的区域且关联到相同的纵轴,曲线的缩放、移动、设置范围、游标等图形操作同步。

多轴模式将所有曲线绘制于相同的区域,但每条曲线关联到不同的纵轴,可单独操作每条曲

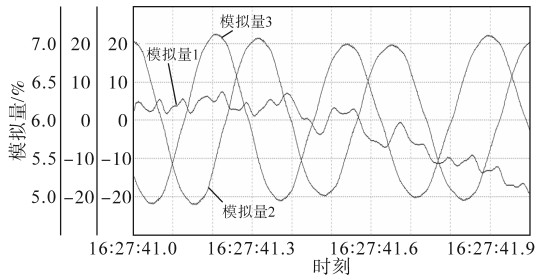


图4 多轴模式

Fig.4 Multiaxis screen mode

线的移动和范围设置。由于关联的纵轴范围不同,每条曲线的缩放比例以及游标显示值也会不同。

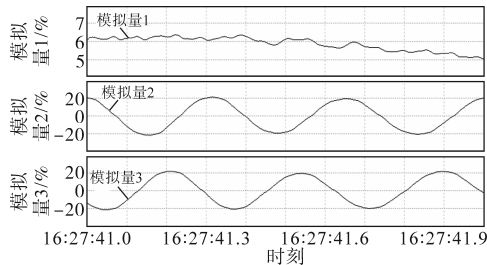


图5 分屏模式

Fig.5 Split screen mode

分屏模式实现了所有曲线绘制于不同区域且关联到不同的纵轴,曲线缩放、移动、设置范围、游标等图形操作互不影响。可通过滚动条调整到要观察的曲线区域。

### 3 设备软件设计

设备控制器采用 ARM+DSP+FPGA 的架构支持数据采集软件系统的运行<sup>[3-7]</sup>,设备控制器 ARM 负责与上位机网络通信,包含心跳收发、启动停止、通道含义和采样周期的解析、数据监测和转发。设备控制器 DSP 负责按设备运行周期采集原始数据,并存入设备控制器 FPGA 采样缓存。FPGA 按照 ARM 给定的采样周期定时从采样缓存中采集数据并发送给 ARM,同时利用高速光纤连接不同设备的 FPGA,实现不同设备采样时间的同步。设备软件实现原理如图 6 所示。

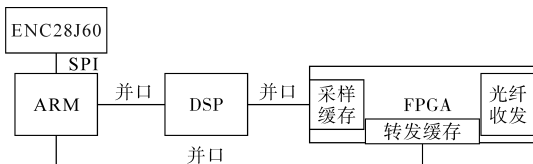


图6 设备软件实现原理

Fig.6 Principle of equipment software

设备控制器 ARM 采用 FreeRTOS 系统进行任务调度,通过串行外设接口(serial peripheral interface, SPI)连接 ENC28J60 驱动网口,在接收到

上位机发送来的启动命令时,通过并口告知设备控制器 DSP 具体的通道含义,通过并口告知设备控制器 FPGA 系统采样周期。此时 DSP 和 FPGA 开始采样工作。ARM 通过外部中断的方式,周期性地检测数据转发缓存是否有变化,如果数据有变化,则通过并口读取全部数据,转发上位机。

设备控制器 DSP 按设备控制周期运行,是数据采集系统的数据源,根据不同的应用需要,可能采用不同的值,如 2.5 ms, 625 μs, 555 μs 等。DSP 通过并口解析到 ARM 转发的启动命令以及具体的通道含义后,开始按照设备控制周期采集数据,并通过并口写入 FPGA 采样缓存。

设备控制器 FPGA 有主从的概念,每一个数据采集系统有且只有一个主站,从站只有接收到主站的光纤信号后才开始工作,这是为了实现不同设备间同步采样而设计的,同步误差小于 1 ms。当主站 FPGA 接收到 ARM 转发的启动命令以及采样周期后,开始向从站发送采样信号,不同设备间同步采样,并存入各自设备数据转发缓存。

设备数据处理流程如图 7 所示。这里要注意的是,光纤信号只能保证不同设备间数据采集是同步的,但是还有数据源的配置以及 ARM 转发等因素,因此主站 FPGA 在接收到启动命令后,做了延迟,用于等待其它从站完成配置通道和采样周期等任务。ARM 转发的数据是同步采集的,但是发送给上位机的时间可能不同,需要上位机完成数据对齐。

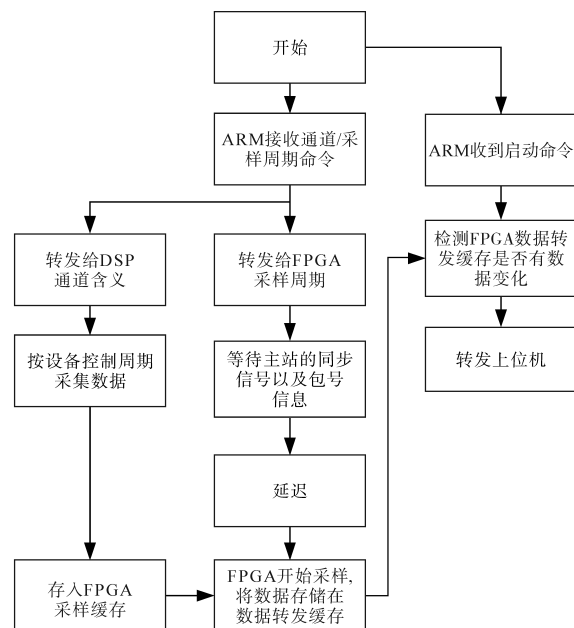


图7 设备数据处理流程

Fig.7 Data processing flow for device software

## 4 系统应用验证

本文所论述的系统已在某冶金冷轧项目中实际应用,该项目配置了中压变频逆变器3台和整流器1台,控制3台异步电机用于钢板开卷、卷曲和轧机。为了方便调试和监控,上位机软件通过以太网连接到3台逆变器和1台整流器的控制器上,实现了组网监控和多设备同步采集等功能。系统对设备内部的重要变量进行实时显示和监控,如转速给定、转速实际值、励磁电流给定、励磁电流实际值、直流母线电压等,并且同时将所有数据压缩成文件,用于历史数据的分析。上位机软件通过图形化的方式,可以清晰地分析多设备运行时序和故障连锁信息,例如给定信号的调制情况、给定和输出的跟随情况、故障发生的先后顺序等。

工程应用表明,4台设备同时运行、128通道同时监控、1 ms采样周期下,采集系统稳定运行流畅,文件存储和图形绘制准确,应用效果良好,系统功能满足设计要求。由于系统没有添加额外的硬件,成本低廉;数据没有多次转换,精度上没有任何损失。

如果该项目直接采购其它品牌的数据采集系统,会存在系统适配、通道数不够、数据精度损失、价格昂贵等问题。以4台设备同时观测128通道为例,需要为4台设备增加32个DA转换器,每个DA转换器提供4通道,需要购买16个同步采集模块,每个模块提供8通道,还需要购买PC软件的通道授权。由于需要长时间数据监测,所以每一个项目都需要上述配置,所以总体成本十分昂贵。由于数据经历了DA转换器、数据采集模块,所以精度必然有损失,对于高精度要求的变量必然不满足要求。

通过上述工程应用表明,网络版数据采集系统与国外同类型软件系统比较,在数据存储和访问、图形绘制、数据采集等方面采用了自己独特的技术,使用效果已经达到或者超过了同类产品。由于没有额外的采集硬件,具有明显的成本优势。

需要说明的是,应用案例中的系统只适配于该项目的中压变频器。如果选配独立的数据采集

模块该软件系统的通用性更好,适用范围更广。

## 5 结论

经实际应用和测试,本软件产品功能达到设计要求,可以满足工程应用的需要。与同类产品相比,性能完全满足要求,成本方面优势显著,软件系统可以长期稳定可靠运行,提高了产品竞争力,具有很大的工程应用价值。

### 参考文献

- [1] 侯俊杰. 深入浅出MFC[M]. 第2版. 武汉:华中科技大学出版社,2001.  
HOU Junjie. Dissecting MFC[M]. 2nd Edition. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2001.
- [2] 郭永新,刘艳昉,曲晓伟,等. PDA数据采集系统研究与应用[J]. 电气传动,2018,48(2):65-67.  
GUO Yongxin, LIU Yanfang, QU Xiaowei, et al. Research and application of PDA data acquisition system[J]. Electric Drive, 2018, 48(2):65-67.
- [3] 王明玥,曲晓伟,刘同磊,等. 一种组网式工业数据采集分析系统[J]. 电气传动,2021,51(24):63-66.  
WANG Mingyue, QU Xiaowei, LIU Tonglei, et al. A networked industrial data acquisition and analysis system[J]. Electric Drive, 2021, 51(24):63-66.
- [4] 于志强,陆桂军,于洪泽,等. 组网式多通道数据采集系统设计[J]. 电气传动,2021,51(21):72-75.  
YU Zhiqiang, LU Guijun, YU Hongze, et al. Design of networking multi-channel data acquisition system[J]. Electric Drive, 2021, 51(21):72-75.
- [5] 张晓艺,张文玲,杨彦杰,等. 基于STM32的励磁装置数据采集系统[J]. 电气传动,2021,51(3):76-80.  
ZHANG Xiaoyi, ZHANG Wenling, YANG Yanjie, et al. Data acquisition system of excitation device based on STM32[J]. Electric Drive, 2021, 51(3):76-80.
- [6] 李腾,闫菲,于志强,等. 基于ARM的远程监控数据采集系统的设计与应用[J]. 电气传动,2020,50(7):103-107.  
LI Teng, YAN Fei, YU Zhiqiang, et al. The design and application of remote monitor data acquisition system based on ARM[J]. Electric Drive, 2020, 50(7):103-107.
- [7] 支萌辉,尹泉,吕松奎,等. 基于ARM+FPGA的数字交流伺服驱动器设计[J]. 电气传动,2020,50(9):35-41.  
ZHI Menghui, YIN Quan, LÜ Songlei, et al. Design of digital AC servo driver based on ARM and FPGA[J]. Electric Drive, 2020, 50(9):35-41.

收稿日期:2022-10-09

修改稿日期:2023-03-09