

基于 ARM 和 Linux 的汽轮发电机组 状态监测和诊断系统*

程 健, 杨世锡*

(浙江大学 流体传动及控制国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

摘要:针对提高目前汽轮发电机组运行的稳定性、可靠性、安全性及使用寿命问题,设计、实现了一种基于 ARM 微处理器和 Linux 系统的汽轮发电机组状态监测和诊断系统。采用基于 PC/104 总线技术的 ARM 工控主板与数据采集卡设计嵌入式状态监测系统,功能强,体积小,稳定性高;在现有 TCP/IP 协议实现过程中加入服务器自监测、交互过程监测以及传输完毕确认 3 项辅助监控报警机制,增强数据通信系统自我监控功能;系统采用 B/S 网络模式,实现在任意有因特网接入地点以 Web 方式浏览 Web 服务器端现场汽轮发电机组运行状态数据。实验结果表明,该系统的稳定性、可靠性高,功能强劲,效果显著。

关键词:ARM;Linux;汽轮发电机组状态监测和诊断系统;TCP/IP

中图分类号:TH165.2;TP277;TP311

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2010)12-0074-04

Turbine condition monitoring and diagnosis system based on ARM and Linux

CHENG Jian, YANG Shi-xi

(The State Key Lab of Fluid Power Transmission and Control of Zhejiang Province,
Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at improving the stability, reliability, safety and life issues of current turbine, a turbine condition monitoring and diagnosis system based on ARM microprocessor and Linux system was designed and implemented. Industrial control board of ARM and data acquisition board based on PC/104 bus were used to form a portable condition monitoring systems with compact size and high stability. TCP/IP protocol added by three monitor functions which are server-side self-monitoring, interactive process monitoring and confirming transmission completed was used to enhance self-monitoring. In any location with Internet, live data of the running turbo with the B/S network mode can be gotten. The significant results indicate that the system runs with high stability, reliability and more powerful function.

Key words: ARM; Linux; turbine condition monitoring and diagnosis system; TCP/IP

0 引 言

随着国民经济的持续快速发展,我国对电力供应的需求越来越大,汽轮发电机组不断向大型化和自动化方向发展,为了管理好、使用好汽轮发电机组,提高机组运行的稳定性、可靠性、安全性及使用效率和寿命,避免造成重大事故和影响电力供应,近年来许多国内外的大专院校、研究机构和公司围绕大型汽轮发电

机组的状态监测和故障诊断问题展开了大量研究和开发工作,如浙江大学、华北电力大学、西安热工研究院^[1-2]等,均在一定范围内得到应用。这类系统一般都是在国外的 TSI 系统的基础上,实现数据采集、分析与管理功能,通常采用上、下位机的结构,下位机完成现场状态监测,上位机负责设备状态显示,信号处理、报警、故障诊断以及识别等^[3]。

笔者在前人研究的基础上,设计实现了基于 ARM 和 Linux 的状态监测系统^[4],功能强,体积小,稳定性

收稿日期:2010-08-17

基金项目:国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目(2008AA04Z410)

作者简介:程 健(1986-),男,安徽芜湖人,主要从事嵌入式系统研究. E-mail: cj212018@163.com

通信联系人:杨世锡,男,博士,教授,博士生导师. E-mail: yangsx@zju.edu.cn

高。同时建立了基于以太网的数据通信系统,在现有 TCP/IP 协议实现过程中加入服务器自监测、交互过程监测以及传输完毕确认 3 项辅助监控报警机制,传输一旦发生错误,可以立即发出警报,提示工作人员及时解决网络通信问题;同时本研究所设计的系统采用 B/S 网络模式,可以实现在任意有因特网接入的地点以 Web 方式浏览 Web 服务器端的数据信息,实现远程监测汽轮发电机组运行状态。

1 汽轮发电机组状态监测和诊断系统架构

汽轮发电机组状态监测和诊断系统采用模块化分布式构架形式,主要包括现场状态监测系统、远程故障诊断系统、远程工作站、数据库服务器系统以及链接各系统的数据通信网络支撑系统。通过稳定可靠的数据通信网络支撑系统可以方便地实现远程监测汽轮发电机组运行状态,同时可以借助各地专家为现场机组提供远程故障诊断。系统的整体架构如图 1 所示。

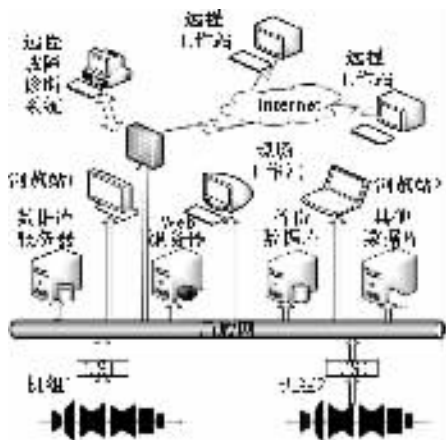


图 1 分布式汽轮发电机组状态监测和诊断系统架构图

2 系统功能模块配置

汽轮发电机组状态监测和诊断系统各模块功能如图 2 所示。

2.1 嵌入式汽轮发电机组状态监测系统

嵌入式汽轮发电机组状态监测系统稳定性高、体积小、功能强,负责完成现场汽轮发电机组数据采集,实时波形数据及频谱显示,初步故障诊断与机组保护,与远程故障诊断系统、局域网内服务器数据通信以及本地数据存储等任务。其中数据采集任务分为 3 个子任务进行。

(1) 快变信号采集。

主要对汽轮发电机组振动信号进行 A/D 采样,对

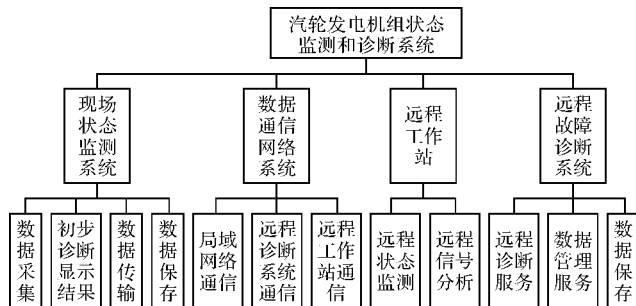


图 2 系统功能模块框图

采集到的信号数据进行缓存,直到 ARM 芯片将其读取,数据采集卡可接入 8 路振动信号,类型可以是轴振(摆度)、瓦振、或加速度、速度、位移及其他类型的信号。

(2) 缓变信号采集。

用于对汽轮发电机组的温度、压力、轴位移、胀差等相对变化较缓慢的信号进行采集。

(3) 开关量信号采集。

用于采集热工流的阀和继电器停开状态及其他开关量。

传感器采集的汽轮发电机组运行状态信号,经过信号调理电路后,由 PC/104 总线进入数据采集卡, A/D 转化后,再由 PC/104 总线进入工控主板及 ARM 芯片,完成后续数据处理与网络传输。

2.1.1 硬件配置

针对以上所述系统特点及任务,本研究设计汽轮发电机组状态监测系统硬件,主要由阿尔泰科技生产的 ARM8060 嵌入式主板与笔者实验室自主研发的基于 PC/104 总线技术的数据采集卡和信号调理板卡组成。

2.1.2 软件配置及功能

Linux 是一种用户友好的操作系统,能够与 UNIX 系统兼容并开放源代码。它原本被设计为桌面系统,由于其系统稳定,功能强大,并且可根据用户需求进行裁剪,现在已广泛应用于嵌入式系统。Linux 操作系统网络功能强劲,支持工业以太网连接^[5],这也是笔者选择其作为嵌入式系统主 CPU 操作系统的重要原因。本设计采用 Linux2.6 版内核,经过裁剪的嵌入式 Linux 操作系统以及嵌入式 Qt^[6] (Qt/Embedded) 作为现场 TSI 系统的软件开发平台,可以满足嵌入式操作系统实时性需求。

笔者采用 Qt/Embedded 作为系统开发工具,建立了 ARM-Linux 交叉编译环境。为了便于系统的维护和开发,应用程序的开发采用模块化的开发思想。整个软件架构在 Linux 2.6.x 内核上,可以分为系统配置、状态监测、故障诊断、重要参数设置 4 个模块。系统配置包括对信号的配置、对模块的配置以及组网时

对系统的配置,此外,还可以对系统自检、SD 卡存储、LCD 亮度、IP 等参数进行配置。状态监测可以从频域、时域的角度对测点进行监测,并且形成监测报告。故障诊断可以对常见的故障进行诊断。系统把重要参数的更改集中起来,需要输入密码进行参数设置,包括存储策略、AD 触发方式、模块增减、分布式组网等,程序设计基于 Qt 平台完成,采用多线程机制完成。具体功能图如图 3 所示。

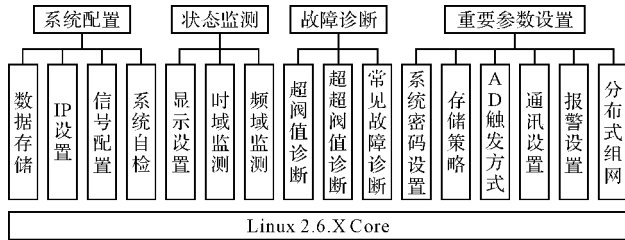


图 3 系统软件功能图

在多线程程序设计过程中,为了避免公共数据读写混乱,本研究采取公共数据互锁机制。在系统内存中开辟一块大小固定的内存空间(float DataBuffer[]),用于存储数据采集卡每次采集的信号数值,每次采集完成后这些数据将用来实时波形显示,向远程故障诊断系统和数据服务器传输等,当其中一个任务读或写该公共数据区域时,程序中设计的 QMutex 将数据锁住防止其他任务同时操作该数据区域,本任务完成后数据区域同时解锁,这样就解决了程序中公共数据读/写问题。

2.2 数据通信网络系统

2.2.1 TSI 系统与远程故障诊断系统通信

现场 TSI 系统对汽轮发电机组状态进行监测,采用 C/S 网络模型将采集到的现场数据通过工业以太网发送至远程故障诊断系统。本研究以 Linux 和 Qt 为整个系统的软件开发平台,设计实现了状态监测系统和远程故障诊断系统之间的数据通信系统,在 TCP/IP 协议^[7-9]实现过程中加入 3 项辅助监控报警功能,数据通信发生错误会及时报错。远程故障诊断系统(QTcpServer)首先建立起监听,接收来自现场 TSI 系统的连接。

远程故障诊断系统建立起新的监听后,一旦检测到现场 TSI 系统新的连接请求,现场 TSI 系统与远程故障诊断系统发生 3 次握手后,数据开始传输。Qt 提供的 signal 和 slot 机制触发传输事件,即:connect(tcpServer, SIGNAL(NewConnection()), this, SLOT(receiveData()))。

程序在数据开始传输,传输过程以及传输临近结

束这 3 个时段分别增添了 3 层监控功能。

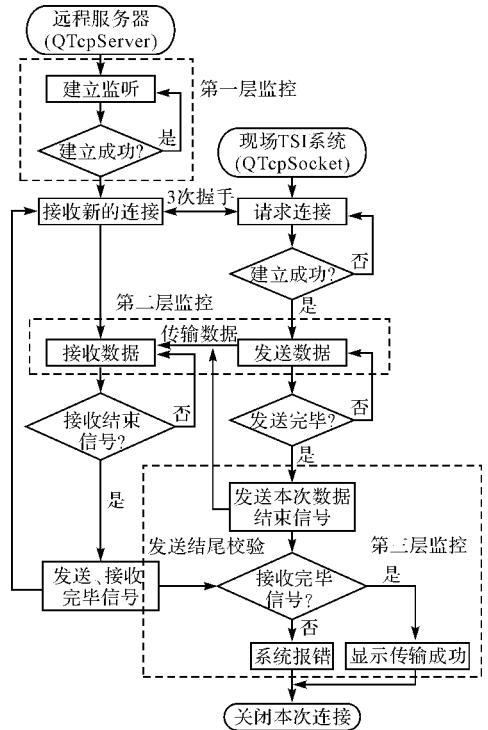


图 4 基于 3 层辅助监控的嵌入式 TCP/IP 协议通信流程图

(1) 传输一旦开始,远程故障诊断系统立即建立起自我监控,如果监听断开,会马上报错,提示错误信息(tcpServer->errorString()),并尝试重新连接;

(2) 在传输过程中,如果远程故障诊断系统与现场 TSI 系统之间的连接断开,现场 TSI 系统与远程故障诊断系统将自动重新连接,若超时建立失败,则立即同时报错(远程故障诊断系统显示报错,现场 TSI 系统报警灯亮),提示连接中断;

(3) 在传输完毕后,远程故障诊断系统向现场 TSI 端抛出接收完毕信号(quint16(0xFFFF)),如果现场 TSI 系统超时接收不到由远程故障诊断系统传来的该接收完毕信号,同样会报错,提醒工作人员远程故障诊断系统在接收数据过程中出现问题。由于 3 层监控功能的保障,网络通信一旦出现问题,会立即报警提示。

以下是远程故障诊断系统主要实现代码:

```
void Server::setupServer() //建立远程监听
{
if (! tcpServer->isListening() && ! tcpServer->
listen(QHostAddress("10.11.112.76"), portLineEdit->text().
toInt()))
//监听现场 TSI 系统的请求连接
{
statusLabel->setText(tr("建立失败\n%1").arg(tcpServer->
errorString()));
}
//如果建立失败,报错
else
```

```

}
statusLabel -> setText(tr(" 监听建立成功 "));
blockSize = 0;
//未开始接收数据,blockSize 初始化为零
}
}

```

2.2.2 数据库通信系统

TSI 系统同样利用上述 TCP/IP 协议将现场采集到的数据通过以太网传输至数据库服务器保存,数据库服务器通过局域网再将数据转发至局域网内的故障数据库、备份数据库、Web 数据库等。

其中,Web 服务器是普通人员了解现场设备状态的有效工具,可以响应远程工作站请求,负责向远程工作站发送数据、图形和诊断结论等。

2.3 远程工作站

远程工作站通过 B/S 网络模型^[10]联接至本地 Web 服务器,在有因特网接入的地方,经过帐号密码认证后就能以浏览器的方式获取现场机组运行数据,实现远程监测汽轮发电机组运行状态,同时远程工作站可以对数据信号进行分析,时域波形显示,轴心轨迹监测,频谱分析等等,协助人员完成远程监测任务。

2.4 远程故障诊断系统

远程故障诊断系统为整个系统重要组成部分,数据由现场 TSI 系统通过工业以太网发送至远程故障诊断系统,后者对数据进行信号分析处理,显示实时波形数据、频谱图等,采用 BP 神经网络进行汽轮机故障诊断,同时也可实现人机结合,专家可以通过它对状态数据进行分析处理,故障诊断。远程故障诊断系统主要功能如图 5 所示。

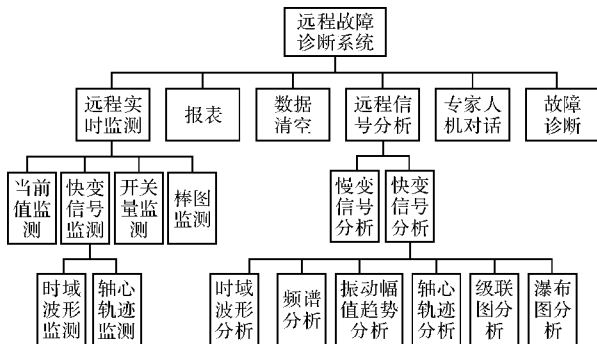


图 5 远程诊断系统功能图

3 系统应用及结论

本研究所设计的基于 ARM 和 Linux 汽轮发电机组状态监测和诊断系统,硬件结构简单,小巧,便携式状态监测系统(如图 6 所示)便于安装,降低了系统的

故障率,增强了系统的可靠性和抗干扰性。该系统以华北电力大学电力系统动态模拟实验室 300 MW 汽轮发电机组为实验对象,进行系统模拟运行,结果表明,该系统稳定性强,特别在网络通信方面,数据传输可靠性高,远程浏览便捷,系统整体运行效果显著,具有重要实际应用意义。



图 6 嵌入式汽轮发电机组状态监测系统



图 7 嵌入式汽轮发电机组状态监测系统主界面



图 8 远程故障诊断系统数据接收页面

参考文献 (References) :

[1] 西安热工研究院. 超临界、超超临界燃煤发电技术[M]. 北京:中国电力出版社,2008.

高速通信等特点,采用 FPGA 芯片作为控制芯片,嵌入 32 位的 NIOS II 软核处理器来控制 SJA1000 实现 CAN 总线通信,可扩展性好,稳定性高,降低了重量、体积以及功耗,使用 FPGA 内嵌的双口 RAM 作为数据交换接口,实现了节点控制器 CPU 与通信卡之间高速、可靠的数据交换,且能够方便地实现在系统编程。通信卡具有广泛的通用性,在实时控制系统中能够实现 CAN 通信的嵌入式应用。实验证明能够满足控制系统 CAN 通信的准确率、实时性等要求,并成功应用于丝网检测项目中多轴运动控制的通信系统中。为了更好地体现嵌入式应用的特性,本课题还需要对嵌入式 CAN 通信卡与上位机通信的协议进行更具体的研究。

参考文献 (References):

- [1] 陈鸣慰,袁作林,季 鹏. 基于 RS232/485 协议的数据采集系统[J]. 微处理机,2009(4):86-87.
- [2] 周如培,于 跃,王冬芳. 基于 USB 总线的 CAN 总线通信适配器的设计[J]. 现代电子技术,2003(24):6-8.
- [3] 郑 琪,毕建刚,武自芳. 基于 PCI 总线的 CAN 智能适配卡的实现[J]. 仪器仪表用户,2003(6):106-108.
- [4] GALANIS M D, DIMITROULAKOS G, GOUTIS C E. Performance improvements from partitioning applications to FP-

GA hardware in embedded SoCs[J]. *The Journal of Supercomputing*,2006(2):185-190.

- [5] RENOVELL M, PORTAL J M, FAURE P. A discussion on test pattern generation for FPGA-implemented circuits[J]. *Journal of Electronic Testing*,2001(3):283-290.
- [6] 陈 萍,姜秀杰. 基于 FPGA 的 CAN 总线通信系统[J]. 设计与应用,2003,17(12):2482-2483.
- [7] 徐军涛,许化龙. 基于 FPGA 的 PC/104-CAN 通讯板设计[J]. 通信与信息技术,2009(19):83-85.
- [8] DICK C, HARRIS F, RICE M. FPGA Implementation of Carrier Synchronization for QAM Receivers[J]. *The Journal of VLSI Signal Processing*,2004(1):57-65.
- [9] DELIPARASCHOS K M, NENEDAKIS F I, TZAFESTAS S G. Design and implementation of a fast digital fuzzy logic controller using FPGA technology[J]. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*,2006(1):80-85.
- [10] 宋清昆,吴立松. CAN 总线智能节点设计[J]. 自动化技术,2008,27(7):10-12.
- [11] 杜尚丰. CAN 总线测控技术及其应用[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [12] 饶运涛,邹继军,郑勇芸编著. 现场总线 CAN 原理与应用技术[M]. 北京航空航天大学出版社,2003.

[编辑:李 辉]

(上接第 77 页)

- [2] 严可国,魏克严,李 植. 大型旋转机械监测保护故障诊断系统[M]. 北京:北京电力科学研究所,1994.
- [3] 华东六省一市电机工程(电力)学会. 汽轮机设备及其系统[M]. 2 版. 北京:中国电力出版社,2006.
- [4] 朱善安. 嵌入式轴承故障诊断系统中基于 ARMS3C2410A 的 Linux 平台设计与实现[D]. 浙江大学电气工程学院,2006.
- [5] 刘文峰,李程远,李善平. 嵌入式 Linux 操作系统的研究[J]. 浙江大学学报:工学版,2004,38(4):447-452.
- [6] BLANCHETTE J, SUMMERFIELD M. C++ GUI Programming with Qt 4[M]. 2nd Edition. England: Pearson Educa-

tion Limited,2008.

- [7] STEVENS W R. TCP/IP Illustrated Volume 1: the Protocols [M]. U. S. A: Addison Wesley, 1994.
- [8] WRIGHT R. STEVENS W. R. TCP/IP Illustrated Volume 2: the Implementation[M]. U. S. A: Addison Wesley,1995.
- [9] STEVENS W R. TCP/IP Illustrated Volume 3: TCP for Transactions, HTTP, NNTP, and the UNIX Domain Protocols[M]. U. S. A: Addison Wesley,1996.
- [10] 黄新燕,张承阳. 基于 Web 的开放式数控系统远程检测及诊断系统研究[J]. 机床与液压,2007(11):166-168.

[编辑:李 辉]