

新一代跨平台数字式故障录波管理系统

张海宁, 祁 忠, 笃 峻

(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211111)

摘要: 智能电网对故障录波器系统提出了高实时性、超大容量、跨平台、分析功能强大等更高的要求。通过对实时数据库进行性能比较和分析, 最终选择 SQLite 作为数据库存储, 基于 Qt 和自适配通信环境(ACE)优异的跨平台性能, 采用了模块化和组件式设计。新一代数字式录波管理系统通过配置就能实现多种模式运行, 支持网络 103 规约和基于制造报文规范(MMS)的 IEC61850 通信规约, 支持暂态、抽取、稳态波形文件(COMTRADE 格式)。在工程现场应用中取得了良好的效果。

关键词: 跨平台; 多模式; IEC61850; ACE; SQLite; 故障录波

中图分类号: TM 73

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2010)03-0107-04

数字化变电站是变电站自动化技术的发展方向^[1]。按照 IEC61850《变电站通信网络和系统》标准, 可以实现变电站内部以及变电站与集控站间的信息共享和互操作^[2]。

电力系统故障录波器是研究现代电网的基础^[3], 也是评价继电保护动作行为及分析设备故障性质和原因的重要依据。电力系统故障录波器已成为电力系统记录动态过程必不可少的精密设备, 其主要任务已经不仅仅是记录系统大扰动过程中的系统变化全过程, 还包括对故障进行专家智能分析, 快速形成故障简报, 准确分析保护动作特性等。

本文研制的基于 IEC61850 标准的新一代数字式故障录波器管理系统具有多种模式运行、跨平台性能优异、实时性高、容量超大等特点, 具有很好的工程应用价值。

1 系统运行模式介绍

波形文件数据主要分为 4 种。

a. 暂态录波文件: 由故障录波器生成的包括所有通道的 COMTRADE 录波文件。

b. 抽取录波文件: 根据故障从暂态波形文件中抽取出部分通道形成新的 COMTRADE 录波文件^[4]。

c. 稳态录波文件: 每分钟生成的 COMTRADE 录波文件, 持续时间 1 min, 保证所有通道数据不间断。

d. 实时录波数据: 每秒钟生成的二进制数据包。故障录波管理机为一台基于 Unix/Linux/Windows 操作系统的工控机, 可以和南瑞继保电气有限公司的 PCS996 故障录波器组合, 在如下 3 种工作模式下进行工作。

1.1 一体化通信机模式

管理机与 PCS996 录波器一起完成故障录波器的各项功能, 此时变电站内人员也能及时查看录波信息。

PCS996 完成故障波形的记录, 与工控机通信, 将稳态录波文件通过文件传输协议 FTP(File Transfer Protocol)服务送到工控机等工作。

管理机此时对下负责接入录波装置, 采集故障录波装置的当前定值、自检、告警信息、录波事件、实时波形数据和对录波器进行操作, 对上负责与故障录波工作站、保护信息子站、调度等进行通信。

管理机接收到文件后, 由高级分析模块完成故障高级分析、形成抽取波形、形成故障简报等功能^[5]。一体化通信机模式布置图如图 1 所示。

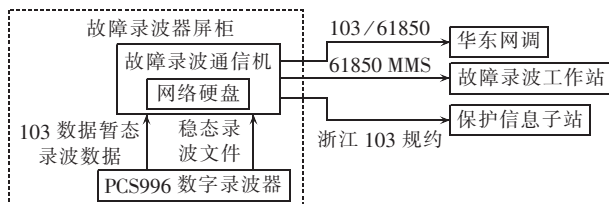


图 1 一体化通信机模式布置图

Fig.1 Layout of integrative communicator mode

1.2 管理机模式

管理机模式(录波器工作站)布置图如图 2 所示。

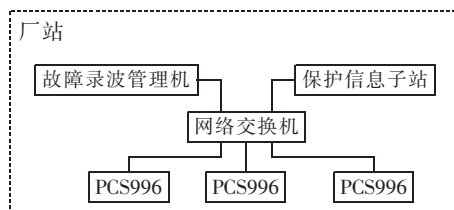


图 2 管理机模式(录波器工作站)布置图

Fig.2 Layout of recorder workstation mode

在广东三乡变中, 录波器需要对多台录波器进行管理。管理机模式下, 录波器管理机除与故障录波装置通信接收故障报告、告警自检信息、实时波形数据外, 并不接收 PCS996 录波器的稳态波形文件。当需要时才从装置召唤暂态录波、抽取录波和稳态录波文件。

1.3 子站模式

子站模式布置图如图 3 所示。

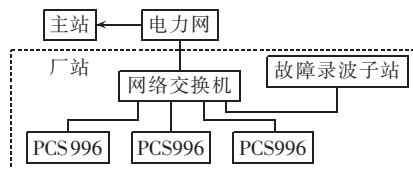


图 3 子站模式布置图

Fig.3 Layout of substation mode

子站模式下,子站除完成管理机的功能外,还可以对上同主站交换配置信息,对下可完成上装、下装配置文件,重启 PCS996 装置,修改 PCS996 的 IP 地址等功能。

2 故障录波管理机软件结构

录波器后台管理系统软件框架图如图 4 所示。

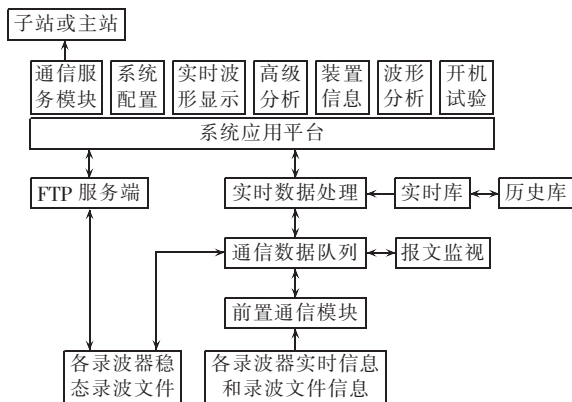


图 4 录波器后台管理系统软件框架图

Fig.4 Software framework of recorder management system

如图 4 所示,为了实现跨平台,系统应用平台基于 ACE 实现通信功能,基于跨平台数据库 SQLite 存储数据,基于 Qt4.3.2 实现界面功能,能够支持 Windows/Unix/Linux 多平台。

下面介绍系统各模块。

a. 通信服务模块。该模块主要用于对上通信,支持多种通信规约,如基于 MMS 的 IEC61850 规约、浙江 103 规约等,对上支持定值召唤、录波文件列表召唤、录波文件召唤、稳态录波文件召唤、录波简报文件召唤、历史事件召唤,主动上送录波简报、录波完成事件报告等功能。

b. 系统管理。包括装置及本机设置、用户管理、界面设置、告警设置、一次设备配置、实时波形配置。

c. 实时波形显示。主要用于实时显示通道波形。

d. 高级分析。主要功能是在线故障计算及动作特性分析;录波简报自动生成,即录波器根据故障录波数据自动生成统一的可扩展标记语言 XML(Extensible Markup Language)格式的录波简报,录波简报是以简报的形式提供故障信息概要^[6],如故障间隔、故障测距^[7]、故障电流/电压等,以统一的 XML 格式上传可以方便主站综合处理及 Web 曲线发布;形成

抽取录波 COMTRADE 文件;离线模拟故障过程。

e. 告警信息。监视故障信息、装置的运行工况变化、动作元件动作、装置告警、装置自检等。

f. 装置信息。该模块包括:上装定值,即读取装置的定值和区号并显示在界面中;下装定值,即将修改的定值下装到装置,修改区号,即修改装置区号;导出定值,即将上装的定值导出到 *.txt 文件;召唤遥信,即召唤遥信信息;召唤遥测,即召唤遥测信息。

g. 波形分析。主要用于离线波形显示和故障分析。

h. 前置通信模块。该模块主要用于对下通信,通过网络 103 规约与故障录波装置通信,采集故障录波装置的当前定值、自检、告警信息、录波完成事件、故障报告事件。向装置转发远方手动录波、手动复位、召唤定值、召唤遥信/遥测数据等命令。同时通过 FTP 客户端从录波器装置读取暂态、抽取、稳态录波文件。

i. FTP 服务端。当系统为一体化通信机模式运行时,系统提供 FTP 服务端,录波器装置可以向工控机写入稳态录波文件。

3 跨平台的实现

为了能够有效地满足面向多平台的复杂应用对不同用户多样服务的需求,将不同系统平台下广域分布的异构、自治资源进行按需组织和管理,以实现动态、协同地提高资源综合利用率和资源共享率,这已成为一个重要的科学问题^[8]。

本系统使用了 Qt4.3.2、自适应通信环境 ACE (Adaptive Communication Environment)^[11]和跨平台数据库 SQLite 来完成跨平台的开发。

3.1 Qt 和 ACE 跨平台

Qt 应用程序框架和 ACE 框架均具有良好的跨平台特性,在源代码级可以做到“一次编码,随处编译”的跨平台效果^[8-9]。从跨平台技术角度讲,Qt 框架为用户提供了诸如应用进程管理、对话框、多线程等的全面解决方案,同时具有对多种国际语言的支持^[10]。

3.2 ACE 简介

ACE 是一种高性能的面向对象的软件架构。它开放源码,实现了许多用于并发通信软件的核心模式,是开发网络应用和服务的工具包。ACE 提供了一组丰富的可重用 C++ 包装和构架组件,可跨多种平台完成通用的通信软件任务,其中包括事件多路分离和分派、信号处理、服务初始化、进程间通信、共享内存管理、消息路由、分布式服务动态配置、并发执行和同步等。ACE 的目标用户是高性能、实时通信服务和应用的开发者。它简化了使用进程间通信、事件多路分离、显式动态链接、并发的面向对象网络应用和服务的开发。此外,通过服务在运行时与应用的动态链接,使系统的配置和重配置得以自动化。使用 ACE 可以获得更好的可移植性和软件质量,可获得

更高的效率和可预测性,并且更容易转换到标准的高级中间件^[12]。

3.3 ACE 优点

增强可移植性:在 ACE 组件的帮助下,很容易在一种 OS 平台上编写并发网络应用,然后快速地将它们移植到各种其他的 OS 平台上。

更好的软件质量:ACE 使用了许多可提高软件质量的关键设计模式,提供了通信软件灵活性、可扩展性、重用性和模块化。

更高的效率和可预测性:ACE 支持广泛的应用服务质量(QoS)需求,包括延迟敏感应用的低响应等待时间、高带宽应用的高性能,以及实时应用的可预测性。

更容易转换到标准的高级中间件:TAO(The ACE ORB)使用了 ACE 提供的可重用组件和模式,按照 CORBA 的标准实现,并且为高性能和实时系统作了优化。

管理系统的系统应用平台选用 Qt 和 ACE,可以利用两者本身的跨平台性能实现跨平台功能。同时数据库的跨平台功能实现将在下一节介绍。

4 数据库模块的设计

4.1 访问数据库的方法

访问数据库的方法如图 5 所示。

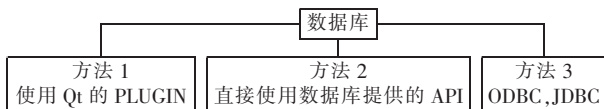


Fig.5 Methods of database access

如图 5 所示,大抵有如下 3 种访问数据库的方法。

a. 使用 Qt 提供的 PLUGIN 插件:因为 Qt 本身提供 Windows/Unix/Linux 操作系统的各种版本,Qt 使用插件方式提供对数据库的访问,要求数据库必须提供对结构化查询语言 SQL92(Structured Query Language)的大多数支持。

b. 直接使用数据库提供的应用程序编程接口(API):数据库提供直接访问数据库的 C 接口,这种方法访问数据库最快,而且版本更新也最快。

c. 使用 ODBC 或 JDBC。开放数据库互连 ODBC 即 Open Database Connectivity,是微软公司开放服务结构 WOSA(Windows Open Services Architecture)中有关数据库的一个组成部分,它建立了一组规范,并提供了一组对数据库访问的标准 API。这些 API 利用 SQL 来完成其大部分任务。ODBC 本身也提供了对 SQL 语言的支持,用户可以直接将 SQL 语句送给 ODBC。

Java 数据库连接 JDBC 即 Java Data Base Connectivity,是一种用于执行 SQL 语句的 Java API,可以为多种关系数据库提供统一访问,它由一组用 Java

语言编写的类和接口组成。JDBC 为工具/数据库开发人员提供了一个标准的 API,据此可以构建更高级的工具和接口,使数据库开发人员能够用纯 Java API 编写数据库应用程序。

ODBC 依赖于微软操作系统,JDBC 依赖于 Sun 公司对 JDBC 的支持。

4.2 录波器管理系统对数据库访问的选取

由于录波器管理系统对实时性的要求较高,同时要求在多种平台都可运行,数据量大但数据种类较少。

如果使用 4.1 节中 c 种方法,ODBC 不能实现跨平台,JDBC 虽然可以实现跨平台,但是需要 Java 的支持,因为本系统使用 Qt C++,因此 JDBC 也不适合。

使用 4.1 节中 b 种方法速度最快,同时也可以实现跨平台,只是要求数据库厂家提供访问不同操作系统的 lib 文件和动态库文件。但是只能局限于该种数据库。当换数据库时需要重新写接口。

使用 4.1 节中 a 种方法,因为使用 Qt 的数据库插件,Qt 数据库插件现在提供 MYSQL、SQLite 等,使用标准 SQL92 语句避免了对单一数据库的依赖,经过测试,对数据库实时性影响较小。

4.3 SQLite 简介

SQLite 是一种实现了独立、可嵌入、零配置的 SQL 数据库引擎的小型 C 库,目前官方发布的最新稳定版本是 3.3.7。最初,SQLite 项目的创始人 Richard Hipp D 确立了“简单管理,简单操作,简单使用,简单维护,简单定制”的基本设计目标^[10]。整个项目由大约 3 万行 ANSI C 代码组成,编译后产生的可执行文件不超过 250 K,如果去掉可选部分,存储空间的占用量可以缩减到 150 K 左右。SQLite 中引入了经过优化的 Lemon 算法,减少查询时内存的占用量,同时实现了非末端析构的功能,当发生 SQL 语法错误,引发程序异常时,不会导致内存泄漏,因此,它非常适合那些存储器资源受限制的系统。SQLite 支持数据库事务正确执行的 4 个基本要素原子性、一致性、隔离性、持久性 ACID(Atomicity, Consistency, Isolation, Durability)事务^[13],并且在多个子功能单元添加了有效的验证算法,这样即使发生系统崩溃和电源失效,只要非失忆性存储介质没有损坏,就不会产生数据错误或丢失,因此,它非常适合那些运行环境比较复杂的系统。SQLite 是零配置的,没有独立的数据库引擎,用户请求和数据服务在同一个进程中进行,避免了频繁的进程间通信的额外消耗,所以比传统的客户/服务器数据库系统具有更快的速度,因此,它非常适合那些数据访问频繁,实时性高的系统,SQLite 支持绝大多数的 SQL92 语句,借助 API,只要了解基本的数据库操作就可以很好地驾驭它^[14]。

4.4 主流文件型数据库性能测试比较

这里将 Berkeley DB 和 SQLite 做一个比较。

机器配置:Core2E4500CPU、2G 内存;

测试环境: Berkeley DB 不支持事务, SQLite 支持事务。

Berkeley DB 和 SQLite 性能测试比较表如表 1 所示。从表 1 可以看出, Berkeley DB 不支持 SQL92, SQLite 支持 SQL92, 但性能却互有长短。

表 1 Berkeley DB 和 SQLite 性能测试比较表

Tab.1 Comparison of performance between Berkeley DB and SQLite

序号	测试项目	Berkeley DB	SQLite
1	插入 10000 条记录耗时	0.08 s	0.42 s
2	插入 100000 条记录耗时	2.31 s	3.81 s
3	插入 7200000 条记录耗时	1024.34 s	249 s
4	插入 57600000 条记录耗时	12860.78 s	2155.14 s
5	插入 172800000 条记录耗时	48039.64 s	6352.06 s
6	10000 条记录查 1 记录耗时	<0.01 s	<0.01 s
7	100000 条记录查 1 记录耗时	<0.01 s	<0.01 s
8	7200000 条记录查 1 记录耗时	<0.01 s	<0.01 s
9	57600000 条记录查 1 记录耗时	0.03 s	0.16 s
10	172800000 条记录查 1 记录耗时	0.03 s	0.09 s
11	10000 条记录数据库大小	0.628 M	0.527 M
12	100000 条记录数据库大小	5.29 M	5.32 M
13	7200000 条记录数据库大小	516 M	405 M
14	57600000 条记录数据库大小	3087.13 M	3925.8 M
15	172800000 条记录数据库大小	11890.7 M	10621.2 M

4.5 本系统的数据库接口

本系统为了实现实时性高, 跨平台, 同时不依赖于一种数据库, 采用了图 5 中的方法 1, 选择使用 SQLite, 经过测试, 实时性基本满足要求。

同时由于数据库接口是以动态库文件的形式存在, 也可以采用方法 2, 只须将使用 Qt 的 PLUGIN 方式改为使用 SQLite 数据库自带的 API 方式。

经过在不同操作系统下的长时间海量数据测试, 单数据记录达到 100 万条时仍然能够保持高实时性, 同时比较节省空间, 基本满足了系统的要求。

5 结语

基于 Qt、ACE 和 SQLite 的新一代数字式故障录波器后台管理系统, 使用了模块化和组件式设计, 通过配置支持一体化通信模式、管理机模式和子站模式 3 种模式, 实现了跨平台应用, 支持网络 103 和基于 MMS 的 IEC61850 规约, 具有很好的实时性。

参考文献:

- [1] 梁晓兵, 周捷, 杨永标, 等. 基于 IEC61850 的新型合并单元的研制[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(7): 85-89.
LIANG Xiaobing, ZHOU Jie, YANG Yongbiao, et al. Development of a new type of merging unit based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(7): 85-89.
- [2] 杨永标, 丁孝华, 黄国方, 等. 基于 IEC61850 的数字化故障录波器的研制[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(13): 58-61.
YANG Yongbiao, DING Xiaohua, HUANG Guofang, et al. Development of a digital fault recorder based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(13): 58-61.
- [3] 张延冬, 焦彦军, 张举. 基于嵌入式系统的故障录波器设计[J]. 继电器, 2005, 33(3): 62-65.
ZHANG Yandong, JIAO Yanjun, ZHANG Ju. Design of fault recorder based on embedded system[J]. Relay, 2005, 33(3):

62-65.

- [4] 苏忠阳. 录波数据的分通道存储方式及其采用 IEC61850 传输的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(7): 101-104.
SU Zhongyang. Channel split saving method of fault wave data and its application of IEC61850 file transmission[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(7): 101-104.
- [5] 杜新伟, 李媛, 刘涤尘. 电力故障录波数据综合处理系统[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(12): 75-78.
DU Xinwei, LI Yuan, LIU Dichen. Integrated processing system for power fault recording data[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(12): 75-78.
- [6] 罗少杰, 唐剑, 黄武浩. 基于电力数据网的电网故障录波数据综合处理系统[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(16): 83-85.
LUO Shaojie, TANG Jian, HUANG Wuhao. Integrated processing system for power fault recording data based on power data network[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(16): 83-85.
- [7] 王晓兰, 李建海, 肖骏. 基于虚拟仪器技术的便携式故障录波装置设计[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(23): 73-75.
WANG Xiaolan, LI Jianhai, XIAO Jun. Design of portable fault wave-recording device based on virtual instrument[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(23): 73-75.
- [8] 闫锋欣, 侯增选, 张定华, 等. 基于 Qt 和 Open Inventor 跨平台虚拟油泥造型系统构建方法的研究与实现[J]. 计算机科学, 2008, 35(11): 244-247.
YAN Fengxin, HOU Zengxuan, ZHANG Dinghua, et al. Research and implementation on building cross-platform virtual Clay modeling system based on Qt and open Inventor[J]. Computer Science, 2008, 35(11): 244-247.
- [9] 许德新, 谈振藩, 高延滨. 基于 Qt 组件库应用程序的生成及其跨平台实现[J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(3): 373-376.
XU Dexin, TAN Zhenfan, GAO Yanbin. Developing application and realizing multiplatform based on Qt framework[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2006, 37(3): 373-376.
- [10] 蔡志明, 卢传富, 李立夏, 等. 精通 Qt4 编程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 485-490.
- [11] SCHMIDT D C, HUSTON S D. C++网络编程(卷 1): 运用 ACE 和模式消除复杂性[M]. 於春景, 译. 武汉: 华中科技大学出版社, 2003: 12-17.
- [12] 金跃辉, 吴晓霞, 崔毅东. 基于 ACE/TAO 的分布式网络测量管理平台的研究与实现[J]. 高技术通讯, 2008(3): 243-247.
JIN Yuehui, WU Xiaoxia, CUI Yidong. The research and implementation of a distributed network measurement management platform based on ACE/TAO[J]. Chinese High Technology Letters, 2008(3): 243-247.
- [13] 万玛宁, 关勇, 韩相军. 嵌入式数据库典型技术 SQLite 和 Berkeley DB 的研究[J]. 微计算机信息, 2006, 22(1-2): 91-93.
WAN Maning, GUAN Yong, HAN Xiangjun. Research on typical technologies of embedded database-SQLite and Berkeley DB[J]. Microcomputer Information, 2006, 22(1-2): 91-93.
- [14] 史震宇, 李刚, 吴九天. 基于嵌入式数据库 SQLite 的电力直流监控系统[J]. 河南科技大学学报, 2007(4): 40-43.
SHI Zhenyu, LI Gang, WU Jiutian. Design for electric power direct current monitoring system based on SQLite[J]. Journal of Henan University of Science and Technology, 2007(4): 40-43.

(责任编辑: 汪仪珍)

作者简介:

张海宁(1977-), 男, 湖北荆门人, 工程师, 硕士, 研究方向为电力系统稳控系统与监控系统(E-mail: zhanghn@nari-relays.com);

祁忠(1978-), 男, 江苏张家港人, 研发项目经理, 研究方向为电力系统监控与保护信息系统;

笃峻(1975-), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 硕士, 研究方向为电力系统自动控制及计算机监控。

Multi-platform management system of digital fault recorders

ZHANG Haining, QI Zhong, DU Jun

(Nanjing Nari-Relays Electric Co., Ltd., Nanjing 211111, China)

Abstract: The smart grid requires the fault recorder management system of excellent real-time performance, large capacity and powerful analysis function. By the comparison of real-time database performance, SQLite is selected as the data storage. Based on the excellent multi-platform performance of Qt and ACE(Adaptive Communication Environment), the modularization and component design is adopted. The multi-platform management system of digital fault recorders can operate in multiple modes by configuration, supports 103 network protocols and MMS(Manufacturing Message Specification)-based IEC61850 protocol, and accepts different types of wave file in COMTRADE format: transient, extracted and steady-state. The system runs well on site.

Key words: multi-platform; multi-mode; IEC61850; ACE; SQLite; fault record