

基于 COMTRADE 格式的故障录波分析软件设计

杨洋¹, 唐睿², 吕飞鹏¹

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 成都电业局, 四川 成都 610061)

摘要: 针对现有的基于 COMTRADE 格式的故障录波软件在程序设计和实际应用中的不足, 提出了在 .NET 框架下运用 N-tier 软件开发思想实现三层架构的故障录波软件设计。论文详细讨论了运用 C# 编程语言, 以及分层架构的程序思想和面向组件的程序设计技术实现了故障波形的再现及分析, 使故障录波程序具有高内聚、低耦合、易于扩展等优点。

关键词: COMTRADE; 故障录波; .NET 框架; 面向控件设计; 电力系统

Fault recording analysis software design based on COMTRADE format

YANG Yang¹, TANG Rui², Lü Fei-peng¹

(1. School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)
(2. Chengdu Power Bureau, Chengdu 610061, China)

Abstract: Considering the defects of programming and practical application in the fault recording analysis software based on COMTRADE format, three-tier architecture for the fault recording software is presented using .NET framework. This paper discusses in detail how to achieve fault waveform reproduction and analysis by employing C# programming language, the hierarchical structure of the design and the component-oriented programming technology. This developed software has the advantage of high cohesion, low coupling and easy expansion.

Key words: COMTRADE; fault recording; .NET framework; component-based programming; power system

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)07-0067-04

0 引言

随着电力系统对供电可靠性和安全性的要求越来越高, 故障录波装置得到了广泛的应用, 已成为对电网故障和保护的动作情况分析的数据来源, 在系统运行中发挥着越来越重要的作用^[1]。不同厂商的微机故障录波屏和微机保护的录波数据格式及内容可能会不同, 但大都采用了 COMTRADE 格式进行保存^[2], 因此对基于 COMTRADE 格式的故障录波软件的设计进行讨论就显得尤为必要了。

传统的电力系统故障录波分析系统通常有单机应用和基于 Browser/Server 两种架构。单机应用架构的故障录波应用程序^[3-7]通常采用传统的程序设计语言, 能够充分利用本地计算资源, 提供较为丰富的客户端体验。然而其缺点也较为突出: 业务逻辑集中在客户端, 软件的安装、部署和更新困难, 以及存在“DLL Hell”问题^[8]。基于 Browser/Server 的故障录波信息系统^[9,10], 其用户界面是通过 WWW 浏览器来实现, 主要业务逻辑和运算在服务

器端完成, 减轻了系统维护与升级的成本和工作量, 降低了用户的总体成本 (TCO)。其缺点是无法利用本地计算机的计算能力, 响应速度慢, 不能提供丰富的客户体验, 服务器端软件设计较复杂。

针对现有的基于 COMTRADE 格式的故障录波软件存在的一些问题, 本文提出了在 .NET 框架下运用 N-tier 软件开发思想, 实现三层架构的故障录波软件设计, 并在程序设计中运用了新一代的图形设备接口技术 GDI+, 大大简化了基于 Windows 和 Web 的电力系统矢量图形系统的设计开发, 具有较好的实际应用价值, 运用 VS2005 中最新的 ClickOnce 部署技术解决了应用程序更新困难、版本冲突即所谓的“DLL Hell”和安全权限的问题。

1 三层架构的软件设计

1.1 三层架构思想

软件分层是为了实现“高内聚、低耦合”, 采用“分而治之”的思想, 把问题划分开来各个解决^[11], 三层架构的开发就是将整个应用划分为表示

层—业务逻辑层—数据访问层，使得系统的架构更加清晰，每个层次完成的功能较单一，功能代码有规律可循。三层架构的优点如下：

(1) 通过将整个系统分为不同的逻辑块，大大降低了应用系统开发和维护的成本。三层架构将表示部分和业务逻辑部分按照客户层和应用服务器相分离，客户端和应用服务器、应用服务器和数据库服务器之间的通信以及异构平台之间的数据交换等都可以通过中间件或者相关程序来实现。当数据库或者应用服务器的业务逻辑改变时，客户端并不需要改变，反之亦然，从而大大提高了系统模块的复用性，缩短了开发周期，降低了维护费用。

(2) 将数据访问和逻辑操作都集中到组件中，增强了系统的复用性。

(3) 系统的扩展性大大增强。模块化使得系统很容易在纵向和水平两个方向拓展，一方面可以将系统升级为更大、更有力的平台，同时也可以适当增加规模来增强系统的网络应用。由于摆脱了系统同构性的限制，使得分布数据处理成为可能。在扩充或修改功能时，基本不会破坏原有结构的稳定性。

1.2 故障录波软件的三层架构

根据电力系统对故障录波软件的要求和自身的特点，本文提出了如图 1 所示的三层架构。

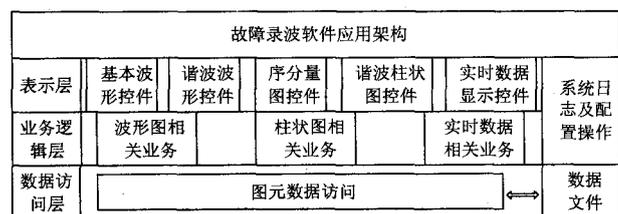


图 1 三层架构示意图
Fig.1 Three-tier framework

(1) 数据访问层：数据访问层主要用来实现与 COMTRADE 标准中的组态文件(*.cfg)和数据文件(*.dat)的交互，即完成数据读取、数据写入的功能。通过 C#语言提供的 IO 访问类 StreamReader, BinaryReader 和自定义的 ChannelInfo 类进行原始数据的采集并存储到故障录波数据集。

(2) 业务逻辑层：业务规则层主要用来完成各种业务规则和逻辑的实现，负责对通过数据访问层读取的数据进行逻辑运算和处理，利用自定义的 ComtradeData 类对故障录波数据集中的数据进行运算，从而为表示层提供有效的数据。

(3) 表示层：表示层为客户端提供实现功能的接口，它只是将系统功能按模块的需要，业务逻

辑层进行高层次的封装。它包括了：

- 1) 基本波形控件：对各个通道的波形进行分析，计算和绘制。
- 2) 谐波波形控件：对故障项谐波波形分析，计算和绘制。
- 3) 序分量图控件：对故障项各序分量进行分析，计算和绘制。
- 4) 谐波柱状图控件：对各个通道各次谐波的幅值大小进行比较，以柱状图直观的显示。
- 5) 实时数据显示控件：对用户点击的各波形数据进行实时显示和分析^[12]。

2 故障录波软件设计

2.1 数据访问层

由于要进行大量的数据读取，数据运算和数据存储，因此一个合理的数据结构能有效地提高程序的可读性和运算速度。COMTRADE 文件遵循固定的记录格式，其中 CFG 文件以一行为单位记录信息，并通过逗号把每行中的各种信息数据区分开。根据这个特点，可采用 C#提供的 StreamReader 类中的实例方法 ReadLine()来获取 CFG 文件中每行的数据。为了有效地区分和提取所读取到的每行中的录波信息，可运用 C#中到一个重要的数据解析工具—正则表达式(RegularExpressions)。正则表达式是用来描述或者匹配一系列符合某个句法规则的字符串的单个字符串，它提供了功能强大、灵活而又高效的方法来处理文本字符串。在 C#中使用正则表达式非常的方便，只需要调用 System.Text.Regular Expressions 命名空间下 Regex 类的静态方法 Match()匹配相应的参数就可以分离每行录波信息中的各种数据了。在访问 DAT 文件时候需要用到 Binary Reader 类的 ReadUInt32()和 ReadUInt16()实例方法分别读取四个字节和两个字节的二进制数据。

在完成了原始录波数据的读取后，设计一个合理的数据结构有助于后续的分析计算。在 COMTRADE 标准中定义了很多类型的数据，根据其特点可以分为 2 种类型。第一种是通道基本属性的数据。第二种是与通道对应的数据文件的数据，它记录了通道每个采样的数值。根据这两种数据类型的特点设计了 ChannaInfo 类和 ComtradeData。ChannaInfo 类包含的字段分别用来存储通道转换乘数，通道转换加数，通道名称以及通道单位。ComtradeData 类包含的字段分别用来存储二进制模拟通道数据，二进制状态通道数据，录波日期，不同采样率下的采样数量，各采样频率，模拟通道数量，状态通道数量，通道总数，线路频率等。其具

体结构如图 2 所示。

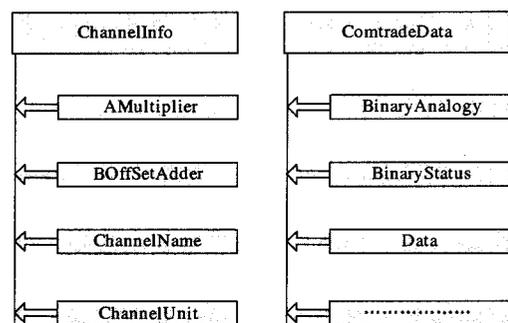


图 2 ChannelInfo 类及 ComtradeData 类类视图

Fig.2 Diagram of Class ChannalInfo&Comtradedata

在传统的故障录波程序中为了存储组态文件和数据文件中的数据通常的做法是在内存中开辟最大的空间来实现,然而这种方式不仅占用内存,而且程序扩展性差。据此在数据访问层的设计中使用了 C# 2.0 中的泛型集合类 List<T> 对数据进行存储。List<T> 不仅可以使使用 Add() 和 Remove() 方法动态的实现数据加入和删除而不需要提前制定存储空间,而且通过泛型可以定义类型安全的数据结构,无须使用实际的数据类型,无须复制类型特定的代码,这能够显著提高性能并得到更高质量的代码。

2.2 业务逻辑层

业务逻辑层处于数据访问层与表示层中间,起着数据交换,承上启下的作用,体现了系统架构中的核心价值。它对数据访问层读取的组态文件和数据文件的数据进行封装,对表示层提供了数据访问的接口,从而实现了层之间弱耦合的结构,使层与层之间的依赖是向下的,底层对于上层而言是“无知”的,改变上层的设计对于其调用的底层而言没有任何影响,从而为程序更新,维护带来了方便,克服了传统故障录波程序维护与升级成本高和工作量大的缺点。根根故障录波程序对数据访问的要求,自定义 ComtradeBusiness 类对数据访问层数据进行封装,并对表示层提供了 DataAnalogy, DataMaxMin, DataStatus 三个接口。其具体的功能如下:

(1)DataAnalogy: 对模拟通道的数据进行运算,既把 DAT 文件中数据抽样数 X,乘以增益系数 A,然后加上偏移系数 B,得到该通道二次侧抽样值。

(2)DataMaxMin: 把模拟通道每个时刻采样点的数据值进行比较,分别求出不同模拟通道波形幅值的最值。

(3)DataStatus: 对状态通道的离散数据由 16 进制数据转换为 2 进制数据,从而得到每个状态通道在改采样时刻的值。

2.3 表示层

表示层位于最上层,离用户最近,实现了各种数据和波形的显示,为用户提供了交互式的操作。程序使用了最新的 GDI+ 技术^[13]来进行波形的绘制,运用面向组件编程的思想把波形显示部分以用户自定义控件的方式实现。其中 GDI+ 是新一代的图形接口,与传统通过 GDI 技术相比 GDI+ 使用了面向对象的层次结构,不再使用设备环境或句柄以及绘图方式产生了变化等。GDI+ 在传统的 GDI 技术的基础上添加了许多新特性,优化了许多功能,为开发人员提供的二维矢量图形、文本、图像处理、区域、路径以及图形数据矩阵等一系列相关的类,极大提高了图形编程的方便性。

2.3.1 双缓冲技术

在图形控件中使用 GDI+ 作图时,为了使绘图更加快速和平滑,防止图形动态绘制过程中出现闪烁,可以使用双缓冲技术。其基本原理是:先在内存中开辟一块虚拟画布,然后将所有需要画的图形先画在这块“虚拟画布”上,最后再一次性地将整块画布内容绘制到真正的窗体上,极大地提高了绘图的速度和效率。其实现过程的主要代码如下:

```

private void EnableDoubleBuffer()
{
    SetStyle(ControlStyles.AllPaintingInWmPaint, true);
    SetStyle(ControlStyles.DoubleBuffer, true);
    SetStyle(ControlStyles.UserPaint, true);
    SetStyle(ControlStyles.ResizeRedraw, true);
}
  
```

2.3.2 GraphicsPath 类的使用

GraphicsPath 类可以使绘制好的波形图预先存放到内存中,当需要显示图形的时候直接从内存中调用加快了图形显示速度。将 Graphicspath 类实例化,生成对象:

GraphicPathAnalogy (模拟通道波形实例)

GraphicPathStatus (状态通道波形实例)

GraphicPathAxis (坐标轴实例)

GraphicPathTimeChar (刻度标识和通道数据)

在绘制图形的过程中只需要调用实例方式 StartFigure(), AddLine() 等就可以实现波形的绘制了,非常的方便,效率也很高。

3 软件应用与验证

以下对某时刻母线上产生的故障录播数据进行分析及实现波形再现,并验证程序可靠性。通过读取组态文件中的采样数量,其中采样频率为 10 000

Hz 的采样点共 2403 个, 采样频率为 1000 Hz 的采样点 4403 个, 采样频率为 10 Hz 的采样点 4432 个。以 1 个象素 1 个采样点为比例来进行图形的绘制, 在知道了总的采样点数后, 按每 50 个采样点为一个显示单位, 也即是 5 ms 为一个刻度, 然后把*.dat 文件中的时间数据绘制在时间轴的刻度上。接着对存储在业务逻辑层的模拟通道和状态通道的离散数据进行描点, 绘制出各个通道的波形值, 绘图结果如图 3 所示。

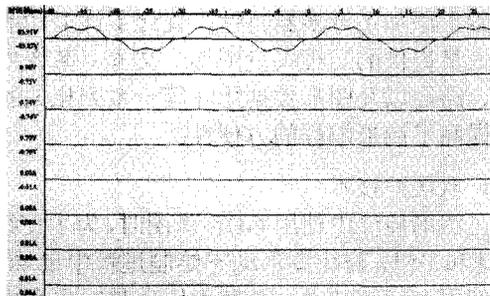
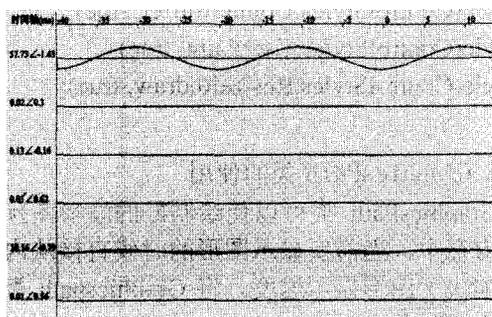


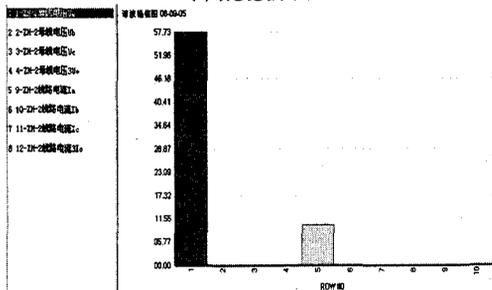
图 3 基本波形图

Fig.3 Diagram of basic wave

对各个通道的离散数字序列按照数据采样原理和傅立叶变换进行谐波分析分别计算出各个通道的离散数据, 调用谐波波形控件和谐波柱状图控件实现对通道谐波的绘制以及对各通道不同次谐波的幅值大小的比较^[14], 结果如图 4 所示。



(a)谐波波形图



(a)谐波柱状图

图 4 谐波分析

Fig.4 Harmonic analysis

程序在波形以及分析数据上与传统商业软件对比得到了一致的结果, 具有良好的可靠性, 并在图形绘制及数据量的处理时间上占有优势。

4 结语

本文介绍了应用软件分层架构的思想和面向组件的程序设计技术以及 GDI+ 技术, 在 MS.NET 框架下实现了基于 COMTRADE 格式的故障录波数据的重现, 分析。实际应用表明, 采用新的开发手段和良好的编程思想使得程序设计简便灵活、开发工作量小、效率高、程序代码更易于维护、复用率高, 运行速度也较快, 为以后实现继电保护故障信息系统中的故障分析专家系统打下了良好的基础。

参考文献

- [1] 周玉兰, 王玉玲, 赵曼勇. 2004 年全国电网继电保护与安全自动装置运行情况[J]. 电网技术, 2005, 29(16): 42-48.
ZHOU Yu-lan, WANG Yu-ling, ZHAO Man-yong. Statistics of Operation Situation of Protective Relays and Automation Devices of Power Systems in China in 2004[J]. Power System Technology 2005, 29(16): 42-48.
- [2] IEEE Std C37.111-1991, IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange(COMTRADE) for Power System[S].
- [3] 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 Xin-wei, LI Yuan, LIU Di-chen. Integrated Processing System for Power Fault Recording Data[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(12): 75-78.
- [4] 陈长德, 张保会, 魏春轩. 故障录波数据集中分析与专家系统[J]. 中国电力, 1999, 32(9): 40-43.
CHEN Chang-de, ZHANG Bao-hui, WEI Chun-xuan. Centralized Analysis and Exper System on the Fault Recording Data[J]. Electric Power, 1999, 32(9): 40-43.
- [5] 郑敏, 黄华林, 吕鹏, 等. 故障录波数据通用分析与管理软件的设计[J]. 电网技术, 2001, 25(2): 75-77.
ZHENG Min, HUANG Hua-lin, Lu Peng, et al. General Analysis and Management Software for Transient Data from Protective Relaying and Fault Recorder[J]. Power System Technology, 2001, 25(2): 75-77.
- [6] 丁俊健, 陆于平. 基于 COM+ 技术的发电机变压器组故障录波分析系统软件[J]. 继电器, 2002, 30(1): 40-42.
DING Jun-jian, LU Yu-ping. Research on COM+ Based Fault Recording Analysis System Software for Generator-Transformer Set[J]. Relay, 2002, 30(1): 40-42.
- [7] 张杰, 涂东明, 张克元. 基于 COMTRADE 标准的故障录波的分析与再现[J]. 继电器, 2000, 28(11): 20-22.

(下转第 74 页 continued on page 74)

重复字节 (L)、重复字节 (L)、开始字节 (68H)、目的地址、源地址、控制域、数据块、校验和和结束字节 (16H)。按照通信协议的格式判断帧是否有效, 如果有效, 执行帧处理函数 FrameProcess(), 对泄漏电流进行处理。通过 MSFlexGrid 控件将处理的结果显示在 datashow 页面里。如果数值超过阈值, 通过改变信号灯的颜色提示用户。如图 7 所示。

泄漏电流	有效值 μA
A(进线)	5.4
A(出线)	6.5
B(进线)	4.5
B(出线)	6.3
C(进线)	8.2
C(出线)	5.3

图 7 显示界面

Fig.7 Displaying interface

3 结论

a. 设计中开关设备绝缘套管泄漏电流实时检测, 并通过两级阈值对泄漏电流进行处理, 为用户提供极有价值的参考信息, 有利于用户做出科学合理的解决方案。

b. 设计中使用了新型高性能 DSP 芯片 TMS320F2812, 从而简化了系统硬件的设计。并采用了 DSP 系统与调理电路分开设计的方法。DSP 系统设计采用 4 层板结构, 几乎全部使用了贴片元件, 采取

了多种隔离手段, 大大提高了系统的稳定性和电磁兼容性。

c. 采用 CAN 总线和 485 总线相结合的双总线通讯方案, 实现了两种总线的优势互补, 从而解决了系统在监测功能和实时性方面的冲突, 并且解决了上位机和下位机间的信息交换问题。

参考文献

- [1] 严璋. 电气绝缘在线检测技术/高等学校教材[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [2] 苏奎峰, 吕强, 耿庆锋, 等. TMS320F2812 原理与开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [3] Incorporated T. TMS320C28X 系统 DSP 的 CPU 与外设(下)[M]. 张卫宁, 译. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [4] Incorporated T. TMS320C28X 系统 DSP 的 CPU 与外设(上)[M]. 张卫宁, 译. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [5] 史久根, 等. CAN 现场总线系统设计技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [6] 顾乐观, 孙才新. 电力系统的污秽绝缘[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1988.

收稿日期: 2007-09-03; 修回日期: 2007-11-15

作者简介:

刘贤兴(1964-), 男, 教授, 主要研究方向电机传动、动态无功补偿、电力电子技术等;

王化月(1980-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电机与电器; E-mail: wanghuayue.net@163.com

蔡彬(1964-), 男, 博士, 主要研究方向电力开关设备。

(上接第 70 页 continued from page 70)

ZHANG Jie, TU Dong-ming, ZHANG Ke-yuan. Analysis and Representation of the Recorded Fault based on Standard COMTRADE[J]. Relay, 2000, 28(11): 20-22.

[8] 曾登高. .NET 系统构架与开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.

[9] 李媛, 刘涤尘. 电力故障信息网络发布系统的设计与实现[J]. 继电器, 2006, 34(4): 57-60.

LI Yuan, LIU Di-chen. Design & Realization of Power System Fault Information Network Issuing[J]. Relay, 2006, 34(4): 57-60.

[10] 马杰, 赵传刚, 李军, 等. 电网故障信息的动态网页发布系统[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(4): 76-77.

MA Jie, ZHAO Chuan-gang, LI Jun, et al. Dynamic Web Publishing System for Power Network Fault Information[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(4): 76-77.

[11] 郝刚. NET 经典范例 Duwamish7 剖析[J]. CSDN 开发高手, 2003, (3): 7-25.

[12] Faison T. Visual c# 基于组件的开发[M]. 北京: 中国电力

出版社, 2002.

[13] White E. GDI+ 程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

[14] 陈小林, 罗毅, 王伟平, 等. 基于故障录波数据的保护特性分析方法及其实现[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(18): 70-74.

CHEN Xiao-lin, LUO Yi, WANG Wei-ping, et al. Protection Characteristic Analysis Method Based on Recorded Fault Data and Its Implementation[J]. Automation of Electric Power System, 2005, 29(18): 70-74.

收稿日期: 2007-06-13; 修回日期: 2007-10-10

作者简介:

杨洋(1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为微机继电保护;

唐睿(1975-), 女, 工程师, 从事电力系统运行管理工作;

吕飞鹏(1968-), 男, 博士, 教授, 研究方向为电力系统继电保护及其综合信息处理智能系统。E-mail: FPLU@Tom.com