

基于 .NET 平台的电网故障行波定位软件开发

吕 虔, 曾祥君, 杨廷方, 马洪江

(长沙理工大学 电气与信息工程学院, 湖南省 长沙市 410076)

Traveling Wave Fault Location Software Based on .NET Platform

LÜ Qian, ZENG Xiang-jun, YANG Ting-fang, MA Hong-jiang

(School of Electrical and Information Engineering, Changsha University of Science and Technology,
Changsha 410076, Hunan Province, China)

ABSTRACT: A .NET platform based traveling wave fault location network software is presented. The browser/server mode is applied in the architecture of the network software. This network software is coordinately used with traveling wave fault location devices installed in substations. By means of general packet radio service (GPRS) network, the wave-front information of fault traveling wave that is sent by fault location devices is received and the position of fault point can be calculated by the time difference between the moments of times by which the wave-fronts of traveling waves arrive at substations in both terminals of the faulty line. Field application results show that the presented software runs stably, and the software contributes to the releasing and sharing of power network fault information.

KEY WORDS: power grid; fault location; software; .NET

摘要: 开发了一种基于 .NET 平台的故障行波定位网络软件。该软件采用浏览器/服务器(Browser/Server, B/S)模式的系统架构, 与安装在各变电站的故障行波定位装置配套使用, 通过通用无线分组业务(general packet radio service, GPRS)网络接收定位装置发送的故障行波波头信息, 依据波头到达各变电站的时间差计算故障点位置。现场应用表明该软件运行稳定, 为电网故障信息的发布、共享提供了方便。

关键词: 电网; 故障定位; 软件; .NET

0 引言

随着我国电力系统规模的不断扩大, 输电线路的电压等级、长度不断增加。据统计, 电力系统的故障绝大多数发生在输电线路。输电线路是电力系统的大动脉, 发生故障将直接危及电力系统的

安全和稳定运行。系统中大量的输电线路穿越高山、森林、湖泊、河流, 发生故障后, 依靠人工巡线很难及时找出故障点, 这给电力系统安全生产带来了极大的不便。寻找一个准确、可靠的故障定位方法已成为当今电力系统研究的热点之一^[1-5]。

本课题组开发了一套故障行波定位装置^[3-4], 通过特制的传感器提取输电线路故障点产生的行波波头信号, 利用波头到达线路两端变电站的时间差进行故障测距。整套装置采用分布式结构部署, 每个变电站安装一套定位装置, 就形成一个定位网络, 能够捕捉到电网中任何线路发生故障时产生的行波信号。本文在此基础上设计开发了基于 .NET 平台的电网故障行波定位软件, 旨在提供一个统一的电网故障信息平台, 使用户可以在任何地方第一时间获取整个电网的故障数据。

1 .NET 平台简介

.NET 是 Microsoft 公司为可扩展置标语言(extensible markup language, XML) Web 服务提供的平台。该平台提供了基于工业 XML 和互联网标准的广泛的产品家族, 包括开发、管理、使用 XML Web 服务的各个方面^[6-7]。XML Web 服务使应用程序能够通过互联网通信并共享数据, 不用考虑操作系统或编程语言的差别。

XML Web 服务的功能强大, 却并不复杂。NET Framework 的基本架构使得 XML Web 服务对于开发人员和用户来说是透明的, 其结构如图 1 所示。

在整个 .NET 平台中, .NET Framework 的位置处于开发工具(Visual Studio .NET)之下, 而在通信协议(XML、SOAP)之上。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50577001)。

Project Supported by National Natural Science Foundation of China (50577001).

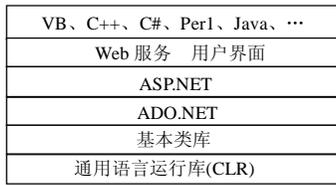


图1 .NET Framework 的结构

Fig. 1 Architecture of .NET framework

活动服务器页面(active server pages, ASP)是 Microsoft.NET 中的网络编程结构, 使建造、运行、发布网络应用变得简单、高效。

ActiveX 数据对象(ActiveX data objects, ADO)是 .NET 平台下新的数据库访问模型, 是 .NET 数据库应用程序的权威解决方案^[8]。

通用语言运行库(common language runtime, CLR)和基本类库是 .NET Framework 的主要组成部分。CLR 是 .NET Framework 中最重要的角色, 为各种编程语言提供了一个统一的环境。基本类库包含了 Microsoft 目前拥有的所有独立框架: C++ 的微软基础类、Java 的 Windows 基础类、Visual Basic 的应用编程接口。这使得开发人员可以自由选择从 C++ 到 Basic 任何一种编程语言, 不必再学习多种 Framework。

目前, .NET 平台已经在电力市场仿真、分布式系统监控、继电保护等软件环境中得到了广泛的应用^[9-14]。

2 电网故障行波定位网络的构成

电网故障行波定位网络由安装在各个变电站的定位装置和服务器组成, 如图 2 所示。

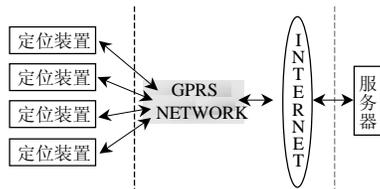


图2 电网故障行波定位网络结构

Fig. 2 Traveling-wave fault location network

定位网络具有很高的可靠性, 少数定位装置故障完全不影响整个网络的故障定位功能, 而传统的双端定位装置一旦一侧装置出现故障就无法对该线路进行故障定位。定位装置在高精度 GPS 时钟的基础上记录故障发生时沿线路传播的行波波头的到达时刻, 通过 GPRS 网络接入 Internet, 服务器通过 Internet 接收每个定位装置发出的行波数据, 进行定位计算, 建立故障信息数据库。用户通过 Web 浏览器访问服务器, 获取整个电网的故障信息。

3 电网故障行波定位软件的结构

整个软件按标准的 3 层结构设计, 分为表示层、业务层和数据层, 以 B/S 模型为主, 采用了 XML、Web 服务、Internet 信息服务(Internet information service, IIS)等技术, 如图 3 所示。用户通过 PC 机, 以 Web 浏览器与服务器进行交互式操作, 完成系统的各种功能。故障收据的接收、故障点位置的计算、与数据库的通信均在服务器上完成, 用户不能直接操作数据库, 系统的安全性也较高。

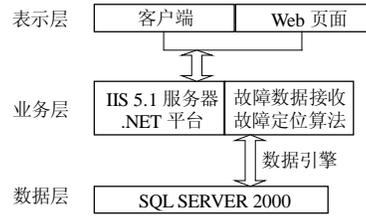


图3 软件结构图

Fig. 3 The software architecture

4 电网故障行波定位软件的主要功能及实现

4.1 故障数据接收

故障数据接收功能通过 Winsock 控件来实现。Winsock 控件是 Microsoft 提供的专门用于 Windows 接口的通信控件, 与 Sockets 完全兼容, 它提供了访问 TCP 和 UDP 网络服务的方便途径。本软件采用 TCP/IP 进行通信。安装定位软件的 Server 通过非对称数字用户线(asymmetric digital subscriber line, ADSL)连接 Internet, 然后向域名服务器注册 Server 的 IP 地址, 采样单元通过 GPRS 模块经 GPRS 网络与 Internet 相连, 向域名服务器注册并获取 Server 的 IP 地址, 之后便可与 Server 建立数据传输通道。

故障定位在电力系统通信中属于运行管理通信的范畴^[15], 其特点是通信的实时性要求不高。基于 GPRS 的通信方式安全性较差, 时延较大, 不过容易实现, 操作简单, 费用也最低, 因此是故障定位系统的最佳选择。

4.2 故障定位计算

Server 收到采样单元传来的故障行波数据之后, 对其进行匹配, 选择出合适的数据进行计算, 其原理如图 4 所示。

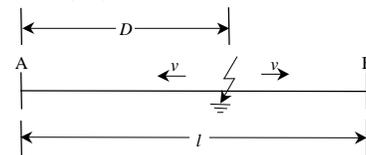


图4 定位原理图

Fig. 4 Power line for fault location

图中： D 为故障点与母线 A 之间的距离； v 为行波传输速度，暂设为 $2.98 \times 10^8 \text{m/s}$ ； l 为线路全长，考虑线路的非直线距离。

假设故障行波波头到达母线 A、B 的时刻分别为 t_1 、 t_2 ，行波由故障点至母线 A、B 的传输时间分别为 t_A 、 t_B ，根据图 4 可知

$$t_A + t_B = \frac{l}{v} \quad (1)$$

$$t_A - t_B = t_1 - t_2 \quad (2)$$

$$D = t_A v \quad (3)$$

由式(1)(2)可得

$$t_A = \frac{l}{2v} + (t_1 - t_2) \quad (4)$$

将式(4)代入式(3)即有

$$D = \frac{(t_1 - t_2)v + l}{2} \quad (5)$$

根据计算的故障距离 D ，从定位端开始遍历地理信息数据，查找距定位端的距离 l_i 与 D 最接近的两个杆塔，既可定位故障点前后的杆塔。整个计算流程如图 5 所示。

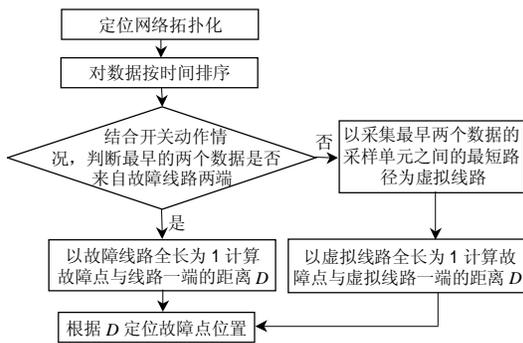


图 5 定位计算流程
Fig. 5 Flowchart of fault calculation

4.3 功角实时测量

功角是反映电力系统稳定性的状态量之一。功角测量使调度人员能够实时监视母线电压间相角和发电机功角的变化，及时发出调度命令，预防系统失稳；自动调节装置能够根据相角的变化控制发电机功角；自动安全装置能够根据系统稳定裕度采取紧急控制措施，保证系统在发生事故时受到损害最小，保持系统稳定。

定位装置测量电压过零点的绝对时刻，如果此装置连续两次测量到的某相电压过零点绝对时间分别为 t_1 和 t'_1 ，那么信号的周期 T 为

$$T = t_1 - t'_1 \quad (6)$$

如果另一装置测量到的同相电压信号过零点的绝对时刻分别为 t_2 和 t'_2 ，则两个变电站之间的相角差为

$$d_{12} = 360 \frac{t_1 - t_2}{T} \quad (7)$$

根据线路电压、电流相量可以估算出线路两端的相对相角差，与测量的结果比较，即可知道测量结果正确与否。

功角测量功能还可以在线路未发生故障时反映定位装置的工作状况：此功能正常，则被测线路两端的定位装置工作正常。

4.4 故障信息数据库

本软件采用关系型数据库 SQL Server 2000 来保存整个电网的地理信息和历史故障数据。地理信息包括变电站的名称、编号，线路的名称、编号、距离信息(考虑非直线距离)，杆塔编号及地理位置等。用户通过浏览器可以了解电网的结构，对整个电网的变电站、线路的数据进行查询、排序，还能对历史故障以线路或时间为关键字进行查询，了解电网的安全运行水平。

整个数据库由 4 个表组成：Sub_Table(变电站属性表)、Tower_Table(杆塔属性表)、Line_Table(线路属性表)和 Fault_Info(线路故障信息表)。4 个表之间的关系见图 6。图中：Sub_ID1 为变电站号字段，Line_ID 为线路号字段。

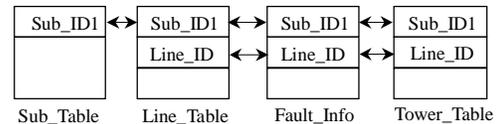


图 6 数据表之间的关系
Fig. 6 The tables' relationship

4.5 Web 服务

Web 服务的加入使定位软件成为整个电网信息化系统中的一部分，用户可以通过浏览器与整个系统进行各种交互式操作，例如查询数据库、打印报表等。调度人员能够在任何地点通过 Web 服务访问 Server 来得到电网所有的历史故障信息。

实现 Web 服务的过程见图 7。用户通过浏览器对 Web 服务器发出请求，Web 服务器通过开放式数据库互连(open database connectivity, ODBC)接口访问数据库，从数据库中获得所请求的信息反馈给用户。

在本软件中，Web 服务通过 Windows 2000 附带的 IIS 组件来实现。IIS 设置简单，操作方便，是

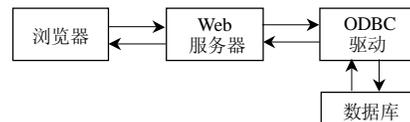


图 7 Web 服务实现过程
Fig. 7 Web Service achievement

在.NET 平台上实现 Web 服务的首选。Web 界面如图 8 所示。

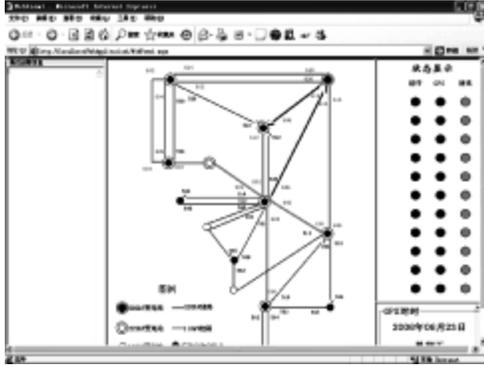


图 8 Web 界面
Fig. 8 Web interface

5 结束语

基于.NET 平台的故障行波定位软件的特点是:

(1) 提供了一个统一的输电线路接地故障信息平台, 在整个电网中共享故障数据。

(2) 基于 B/S 模式, 具有良好的兼容性和扩展性。

(3) 界面友好, 操作、维护简单, 运行人员不需要专门的培训即可使用。

(4) 不需要其它专用软件或硬件, 用户通过 Web 浏览器就可以获取故障信息并进行分析。

本软件已经在湖南株州电网安装运行。据现场人员反映, 系统运行稳定, 对输电线路的各种接地故障均能及时、准确地确定故障点位置, 为运行维护人员共享故障信息、分析事故原因提供了方便。

参考文献

- [1] 曾祥君, 尹项根, 陈德树, 等. 基于整个输电网 GPS 行波故障定位系统的研究[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(10): 8-10.
Zeng Xiangjun, Yin Xianggen, Chen Deshu, et al. GPS traveling wave fault location systems for transmission network[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(10): 8-10(in Chinese).
- [2] 曾祥君, 尹项根, 陈德树, 等. 新型输电线路故障综合定位系统研究[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(22): 39-40.
Zeng Xiangjun, Yin Xianggen, Chen Deshu, et al. Study on a new type of integrative fault location system for transmission line [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(22): 39-40(in Chinese).
- [3] 曾祥君, 尹项根, 林福昌, 等. 基于行波传感器的输电线路故障定位方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(6): 42-46.
Zeng Xiangjun, Yin Xianggen, Lin Fuchang, et al. Study on fault location for transmission lines based on the sensor of traveling-wave [J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(6): 42-46(in Chinese).
- [4] 曾祥君, 尹项根, 林福昌, 等. 输电线路故障 GPS 行波定位装置实验测试研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(8): 31-34.
Zeng Xiangjun, Yin Xianggen, Lin Fuchang, et al. Experimentation for the GPS and traveling-wave based fault locator of transmission line[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(8): 31-34(in Chinese).
- [5] 曾祥君, 尹项根, Li K K, 等. GPS 时钟在线监测与修正方法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(12): 41-46.
Zeng Xiangjun, Yin Xianggen, Li K K, et al. Methods for monitoring and correcting GPS-clock[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(12): 41-46(in Chinese).
- [6] Microsoft. Microsoft Visual Studio .NET 文档. 2002.
- [7] 曾登高. .NET 系统架构与开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [8] Rebecca M. Riordan. ADO.NET 程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [9] 丁杰, 江平, 冯明辉, 等. 基于.NET 框架的变电站信息系统平台[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(9): 95-97.
Ding Jie, Jiang Ping, Feng Minghui, et al. Development of a substation information system platform based .NET framework [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(9): 95-97(in Chinese).
- [10] 杨光, 王慧芳. 基于 Web 的发电厂继电保护整定与信息管理系统[J]. 电网技术, 2002, 26(4): 30-33.
Yang Guang, Wang Hui Fang. A Web technology based protective relaying setting calculation and information management system for power plant[J]. Power System Technology, 2002, 26(4): 30-33(in Chinese).
- [11] 邵丽琴, 管晓宏, 高峰. 基于.NET 平台的电力市场仿真系统的实现[J]. 电网技术, 2004, 28(13): 60-64.
Shao Liqin, Guan Xiaohong, Gao Feng. Implementation of electricity market simulation system on .NET platform[J]. Power System Technology, 2004, 28(13): 60-64(in Chinese).
- [12] 周浩, 张富强, 韩祯祥, 等. 电力市场金融风险评估和辅助决策系统设计与实现[J]. 电网技术, 2005, 29(9): 56-62.
Zhou Hao, Zhang Fuqiang, Han Zhenxiang, et al. Design and implementation of financial risk evaluation and assistant decision-making system for Zhejiang electricity market[J]. Power System Technology, 2005, 29(9): 56-62(in Chinese).
- [13] 黄斌, 吕飞鹏, 卓越, 等. .NET 智能客户端在继电保护应用软件中的应用[J]. 电网技术, 2005, 29(16): 81-84.
Huang Bin, Lü Feipeng, Zhuo Yue, et al. Application of .NET smart client in relaying protection application software[J]. Power System Technology, 2005, 29(16): 81-84(in Chinese).
- [14] 魏志轩, 周良松, 代仕勇, 等. .NET 技术在华中中电网稳定分析和控制系统中的应用[J]. 继电器, 2005, 33(22): 45-48.
Wei Zhixuan, Zhou Liangsong, Dai Shiyong, et al. Application on the online stability analysis and control system based on the .NET enterprise strategy[J]. Relay, 2005, 33(22): 45-48(in Chinese).
- [15] Göran N. Classification of power systems communications needs and requirements: experiences from case studies at Swedish national grid[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 17(2): 345-347.

收稿日期: 2006-12-19.

作者简介:

吕 虔(1978—), 硕士研究生, 研究方向为电力系统微机保护与控制, E-mail: lvix@163.com;

曾祥君(1972—), 博士, 教授, 长沙理工大学电气与信息工程学院院长, 从事电力系统微机保护与控制的教研和研究开发工作。

(实习编辑 李兰欣)