

可视化黑启动决策支持软件开发研究

杨德尚¹, 袁荣湘¹, 李启旺¹, 黄伟², 王永明³

(1. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 惠州供电公司, 广东 惠州 516001;
3. 福州电业局, 福建 福州 350009)

摘要: 电网黑启动过程繁琐而复杂, 目前还没有成熟的专业可视化决策支持软件。针对这种状况, 提出了一种基于IEC 61970和COM(组件对象模型)技术运用QT开发可视化黑启动仿真软件的方法。该系统克服了传统软件系统的兼容性和扩展性不足以及不能跨平台等特点。为了提高黑启动路径选择效率, 系统在仿真过程中通过添加黑启动专家系统, 以获得最佳的目标路径。最后通过实例, 验证了本系统的可行性, 能在大停电事故下为电网的快速恢复提供有效的方案, 为调度人员提供一定的参考和建议。

关键词: 电力系统恢复; 黑启动; 可视化; IEC 61970; COM技术

Development and research of visual software for black-start decision support system

YANG De-shang¹, YUAN Rong-xiang¹, LI Qi-wang¹, HUANG Wei², WANG Yong-ming³

(1. Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Huizhou Power Supply Company, Huizhou 516001, China;
3. Fuzhou Power Supply Company, Fuzhou 350009, China)

Abstract: The black start-up of the power network is a tedious and complex process. And there is no professional visualization software in this field nowadays. To solve this problem, a visualized simulation software using QT and based on IEC 61970 and component object model(COM) technology is proposed in this paper. This multi-platform software has the advantage of good compatibility and scalability. Expert system is embedded in this software in the simulation process to improve the efficiency and get the optimal path. Research on developing this visual software may provide effective recovery measures for networks. This system is proved to be feasible to help the dispatch department to make decision during the large blackout time.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China(No. 50677046).

Key words: power system restoration; black start; visualization software; IEC 61970; COM technology

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)05-0097-05

0 引言

全国大电网的形成对系统的安全性能提出更高的要求。然而自2003年8月14日起, 陆续发生美加大停电、伦敦大停电、悉尼大停电以及近年来我国南方地区因冰雪灾害大面积的停电事故^[1-2]。大面积停电将对社会造成巨大的经济损失, 甚至危及国家安全, 这使黑启动问题具有重大的理论和实际意义而备受重视^[3]。

所谓“黑启动”是指整个系统因故障停运后, 不依赖别的网络帮助, 通过系统中具有自启动能力机组启动, 带动无自启动能力机组, 逐渐扩大系统恢

复范围, 最终实现整个系统的恢复^[4]。电力系统全停后的黑启动恢复是一个非常重要的问题, 然而纵观市场目前还没有一套完整的得到普遍认可的黑启动仿真软件。因此对黑启动仿真软件的研究是十分重要也是十分必要的。现有的黑启动软件或多或少都存在着图形界面不够友善、操作过程不够人性化等问题。针对上述情况, 本文给出一种基于IEC 61970和COM技术的可视化黑启动决策支持软件设计方法。并用这种思想结合实际应用, 开发出了一套可视化黑启动决策支持软件。

1 软件的总体设计

软件主要有网络拓扑分析、黑启动决策方案形成与模拟、潮流计算、网络恢复时各项网络参数以

基金项目: 国家自然科学基金(50677046)

及技术指标的计算、网络中各元器件参数的存储及更新等功能。系统主要由通用性可视化界面模块、黑启动专家系统、计算模块、数据库模块等几部分组成。具体结构如图1所示。

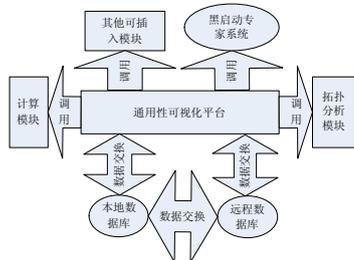


图1 系统总体结构

Fig. 1 The overall structure of the system

可视化界面是系统最重要的模块，主要由图形界面和用户界面及其管理两部分组成。用户界面提供良好的用户操作环境，并实现人机交互的大部分操作，包括输入参数，给出计算条件，查询计算结果,专家系统方案的选择等操作。用户管理包括用户的添加和删除、用户认证、用户权限设置三部分。图形界面主要负责电气接线图的绘制与编辑，基本功能包括各种网络中各图形元件的添加、删除、复制、粘贴、剪切、放缩、选择、移动，以及各种图元属性参数的设置和修改，此外图形界面还增加了器件的查询、检索、导航以及分层显示功能。

专家系统是系统的重要组成部分。所谓专家系统是指运用特定领域的专门知识，通过推理来模拟通常由人类专家才能解决的各种复杂的、具体的问题，达到与专家具有同等解决问题能力的计算机智能程序系统，其主要有人机接口、推理机、知识库、数据库等部分组成。软件中专家系统所用的知识库主要分为有：路径搜索知识库、负荷投入知识库、恢复目标及排序知识库和方案评估知识库。

计算模块是系统的主要部分，其主要包括潮流计算、故障计算以及网络恢复时各项技术指标的计算两部分组成，主要负责系统所绘制线路图的潮流计算、故障时的各项故障数据计算以及黑启动过程中涉及网络重构的相关计算。

数据库模块是系统的基础，其包含一个带有接口的本地数据库，主要负责系统涉及的电网参数结构存储、网络拓扑的存储、计算时参数设定和计算仿真结果存储以及保持与 SCADA 动态数据库各器件状态和参数的同步更新。

2 软件功能的实现

本软件的图形平台采用 QT4.3.4 开发, QT4.3.4

在开发用户界面上有着其他可视化开发工具无法比拟的便捷。而各个计算功能模块则采用 C++来编写，C++在科学计算上具有自身的优势。本地数据库采用 SQL SERVER 2000，利用 QT 自带控件进行动态连接，与远程数据库 ORACLE 实现数据交换。

2.1 可视化平台的实现

本软件的图形平台是在参照 IEC61970^[5]公用信息模型的基础上采用 QT4.3.4 开发的。IEC 61970 是一个电力系统软件设计标准，它一方面描述了电力软件设计中对象的定义和对象的分类，另一方面规范了应用软件之间交换信息的方法——即组件方式^[6]。QT 是挪威的 Trolltech 公司开发的一个多平台的 C++图形用户界面应用程序框架，它是完全面向对象的，并且允许真正的组件编程，容易扩展。可视化平台的实现工作主要由图元及设备库的建立和绘图功能的实现两部分。

2.1.1 图元及设备库的实现

面向对象的软件设计主要有易于移植、代码重用和可扩展性等优点，现行阶段软件的设计主要运用面向对象的方法。面向对象的程序设计方法的主要原则是，将相关数据和使用该数据的函数封装成一个类(class)，用这些类可以方便地创建各类图元对象。类的定义和分类是编写面向对象程序的基本问题，所以需要电力系统中把各元件分类，形成不同的类模块，以便分类建立图元。还应根据需要建立通用类，来协调和管理图元类。此外还应该根据不同类之间的共同点建立个基类，以便于创建其他类的时候直接继承，避免了工作的重复性。

图元是绘图的基石，图元的建立与实现是可视化平台的关键。因此首先建立了图元基类，在图元基类中定义图元对象的一些基本的属性如名称，大小等，以及一些基本的操作属性如创建、移动、删除、缩放等。图元绘制完成后，将每个电气设备都设计封装成可视化的图元组件，每个图元组件既有共同的属性又有自己特有的属性和事件。其它元件类继承此图元基类，同时在各个元件组件类中定义本元件的特有的属性和操作以及重载图形元件基类的属性方法。系统绘制建立设备库首先按照各设备的不同建立图元基类，然后把图元对象的几何参数按图元的显示特性绘制在屏幕上。QT 中的 Arthur 绘图系统集成了丰富的绘图函数，图元建立时只需调用系统中 QPainter、QpaintDevice 中现有的绘图函数，即可方便地完成图元的逻辑层绘制。在绘制好图元的逻辑层后，运用 QPixmap 完成屏幕后台缓冲区域绘图后且将其画好的图元置于器件库栏中，即可实现设备库的建立，见图 2。



图2 系统设备库

Fig.2 Equipment library

2.1.2 绘图功能的实现

在建立好图元和设备库后, 在绘图时直接点击设备库中元件图标然后拖动到绘图区域, 过程中系统响应鼠标的单击和拖动事件, 在绘图区释放 (release) 鼠标, 系统槽响应释放事件, 同时发送插入信号, 将放在逻辑层的图显示在绘图区, 即可完成图元的绘制。元件参数的初始化可以通过修改本地数据库记录或填写双击绘图区的元件图标后产生的参数表完成。QT 设计器(QT Designer)框架式的绘图功能使用户只需点击、拖放其自带的窗口部件等操作即可方便地完成参数表单设计而不需要编写繁琐的程序, 参数表单见图 3。



图3 设备参数菜单

Fig.3 Device parameter menu

分层设计是软件开发中经常用到的方法。将系统按层次划分, 不但可以使得系统层次清晰, 功能明确, 易于实现, 而且代码组成灵活, 方便系统维护和升级。由于电厂和变电站都具有内部结构, 因此在厂站类的处理上系统将其分层显示。双击绘图

区域内厂站图标运用信号/槽机制, 响应鼠标双击事件打开相关联的厂站文件即可进入厂站内部结构图。在进入厂站内部结构图前只需调用 `QCoreApplication::applicationDirPath()` 来获得厂站层接线图的路径, 建立响应键盘按键的信号/槽机制, 点击“后退”键可以回到厂站层线路图, 这样分层显示得以实现。类似的导航及检索功能都可以用这种方法实现。

2.2 网络拓扑分析

设备间的原始连接关系也称原始拓扑结构, 是图形系统要处理的主要问题, 也是上层软件应用图形的基础, 它对表达电网拓扑具有重要意义^[7]。

软件开发时给每个图元添加了连接属性, 给每个图元增加连接点编号及状态两个属性。预先给图元间的连接点设定一种颜色, 同时用连接时接触点的颜色发生变化来表示图元之间建立了连接, 参见图 4。同一个线路图中设备的连接点编号是从 1 开始自增的, 程序将自动设置相互连接的连接点编号, 以使其相同。通过以上方式就可以在设备图元绘制的同时记录相互的连接关系, 线路图绘制完成的同时原始拓扑结构也构成。由于层次清晰、运用简单, 目前许多分析软件多采用了这种方法。

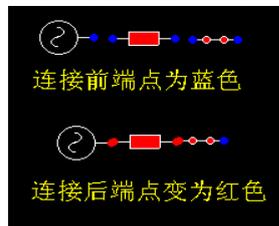


图4 系统中端点连接前后的颜色变化

Fig. 4 The color change of the endpoint

2.3 计算功能的实现

计算部分主要包括故障计算和潮流计算。潮流计算程序是根据快速解耦法(P-Q 分解法) 编制的, 是面向生产的, 具有通用性。快速解耦法是由极坐标表示的牛顿法, 根据电力系统本身特点进一步简化而得。故障计算分成故障设定、数据库和故障结果分析三块。网络恢复时各项技术指标的计算, 采用面向对象的 C++编写计算程序, 并利用 C++6.0 的强大的功能将其编译成 COM 组件的形式, 每个组件有自己的接口, 用来和外界交换数据^[8]。这样既充分利用了已有的资源, 又使得在同一时刻完成多项计算更加容易, 提高了效率。计算结果通过数据库返回到图 3 中的设备信息对话框中, 方便结果查询和分析。

2.4 黑启动功能的实现

黑启动实现方面,采用基于黑板模型专家系统的黑启动决策支持系统。专家系统知识库的几部分是各自独立的,通过黑板进行通信来完成恢复方案的过程。

在搜索黑启动方案前,需要与调度人员进行人机交互,由调度人员进行一定的初始设置,确定恢复目标,必要时还可由有经验的专家对该专家系统的知识库进行修改或添加^[9]。在图形系统中建立基于深度优先搜索方法搜索出符合要求的黑启动初始路径,而深度优先搜索策略是一种盲目的搜索,会把在拓扑关系上可行的所有黑启动方案搜索出来,这样,初始黑启动方案会比较多,给后续的方案校验带来很大的负担,因为要对所有初始方案进行自励磁、过电压(包括工频过电压和操作过电压)、稳定性分析(主要是小扰动稳定性分析)等各项技术校验^[3]。为了减少过程中过多的无效路径,在搜索知识库中加入限制条件,比如限制路径经过的变电站个数等即可形成初步方案。过程中要涉及到负荷的投入,参数的校验、方案排序等都可以通过调用负荷投入知识库和恢复目标及排序知识库来实现。方案评估知识库在前面几种方案的基础上考虑可靠性的影响,综合权宜各项指标的影响,给出各项方案的优劣得到整体恢复方案。

2.5 数据库功能实现

QT 中的数据库访问 QTSql 模块可以无缝集成 QT 与数据库。系统采用 ODBC 作为数据库的驱动程序。只需要根据需要使用不同的驱动插件即可与数据库通信。ODBC 是为客户应用程序访问关系数据库时提供的一个标准的接口,对于不同的数据库,ODBC 提供了一套统一的 API,使应用程序可以应用所提供的 API 来访问任何提供了 ODBC 驱动程序的数据库。在本图形平台中,图形与数据的连接是通过参数录入对话框进行交互的,见图 3。通过该界面可以方便地进行数据的增加、修改以及删除等操作。完成一个设备的参数设定操作后,系统会根据被修改设备的搜索 ID 号的不同,将相应的设备参数自动保存到本地 SQL Server 数据库中。由于采用 SQL Server 数据库作为存储基础,加上本身 QT 软件具有可跨平台特性,所以保证了系统具有很好的通用性和移植性。

3 应用

以广东惠州地区电网为例,该地区电网投运的 220 kV 变电站 11 个,110 kV 变电站 59 个,接线图如图 5、图 6 所示。本决策支持系统用深度优先搜索技

术对系统的拓扑数据库进行搜索,然后系统对所有的初始方案进行技术校验,系统通过校验后对方案进行评估和排序,如图 7 所示。系统所制订的方案及实施过程均是结合当地电网的实际情况并得到当地调度人员的验证,因此是切实可行的。

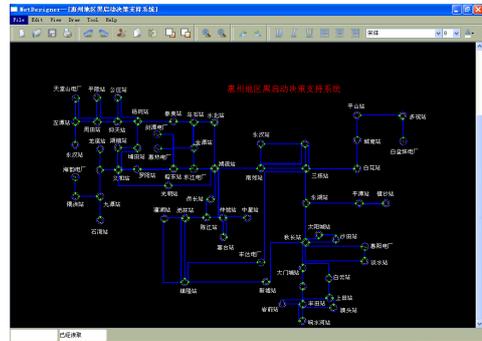


图5 厂站层接线图

Fig. 5 Graphics for layer of plants and substations

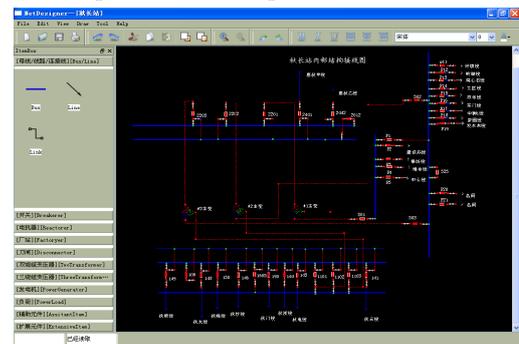


图6 某厂站内部线图

Fig. 6 Graphics for layer of the internal of plants and substations



图7 方案及操作步骤

Fig. 7 Schemes and operation sequences

4 结语

运用上述方法开发的可视化黑启动决策支持软件,除了在图形界面上具有良好的人机界面和绘图功能,参数设置灵活与数据库动态连接实现了图形数据的一体化等优点外,由于系统是基于 IEC61970 和

COM组件技术的,通用性、可重用、可扩展及计算效率等方面比其他程序设计方法有一定的优势,组件能够在不同开发环境开发的电力系统软件中实现“即插即用”。软件嵌入了专家系统来解决黑启动的路径搜索、恢复、决策等问题,为调度人员在大停电事故情况下,提供一定的建议和方法。当然软件也有一些需要改进的地方,例如计算模块执行的速率等方面需要在以后的工作中进一步完善。相信随着研究的深入,类似可视化的黑启动仿真软件必将在电力系统发挥越来越大的贡献。

参考文献

- [1] 赵希正. 强化电网安全保障可靠供电——美加“8.14”停电事故给我们的启示[J]. 电网技术, 2003, 27(10): 1-7.
ZHAO Xi-zheng. Strengthen Power System Security to Ensure Reliable Power Delivery [J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 1-7.
- [2] 甘德强, 胡江溢, 韩祯祥. 2003 年国际若干停电事故思考[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(3): 1-4, 9.
GAN De-qiang, HU Jiang-yi, HAN Zhen-xiang. Reflections on the Blackouts of Electric Power Grids in 2003[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(3): 1-4, 9.
- [3] 林济铿, 蒋越梅, 郑卫洪. 电力系统黑启动初始方案的自动形成[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(2): 72-75.
LIN Ji-keng, JIANG Yue-mei, ZHENG Wei-hong. Automatic Establishment of the Initial Black Start Schemes for Power Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(2): 72-75.
- [4] 房鑫炎, 郁惟镛, 熊惠敏, 等. 电力系统黑启动的研究[J]. 中国电力, 2000, 33(1): 40-43, 96.
FANG Xin-yan, YU Wei-yong, XIONG Hui-min, et al. Study on Power System Black Start[J]. Electric Power, 2000, 33(1): 40-43, 96.
- [5] Draft IEC 61970, Energy Management System Application Program Interface (EMS-API), Part301: Common Information Model (CIM) [S].
- [6] 刘栋, 袁荣湘. 基于 IEC 61970 公用信息模型的电网接线图形软件的设计[J]. 电网技术, 2004, 28(16): 35-39.
LIU Dong, YUAN Rong-xiang. Design of Graphic Software for Power Network Diagram Based on Common Information Model in IEC 61970[J]. Power System Technology, 2004, 28(16): 35-39.
- [7] 胡旦, 王星华, 段献忠. 电力系统高级软件中的图形功能应用分析[J]. 继电器, 2005, 33(14): 72-77, 85.
HU Dan, WANG Xing-hua, DUAN Xian-zhong. Analysis of Graphic Functions Applications in Advanced Software of Power System[J]. Relay, 2005, 33(14): 72-77, 85.
- [8] 张海梁, 袁荣湘, 庄曰平, 等. 基于 COM 技术的图形化继电保护整定计算系统[J]. 电力建设, 2005, 26(5): 68-70.
ZHANG Hai-liang, YUAN Rong-xiang, ZUANG Yue-ping, et al. Graphical Relay Setting Calculation System Based on COM[J]. Electric Power Construction, 2005, 26(5): 68-70.
- [9] 顾雪平, 赵书强, 刘艳, 等. 一个实用的电力系统黑启动决策支持系统[J]. 电网技术, 2004, 28(9): 59-62, 79.
GU Xue-ping, ZHAO SHU-qiang, LIU Yan, et al. A Practical Decision Support System for Power System Black Start [J]. Power System Technology, 2004, 28(9): 59-62, 79.

收稿日期: 2009-03-30; 修回日期: 2009-06-22

作者简介:

杨德尚(1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统安全稳定分析与控制的研究; E-mail: yangdeshang327@163.com

袁荣湘(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统继电保护和电力系统安全稳定分析与控制的研究。

(上接第 96 页 continued from page 96)

- [11] 李胜利, 陈勇, 任军. 基于 J2EE 和构件技术实现发电厂报价支持系统[J]. 电力设备, 2004, 5(12): 48-51.
LI Sheng-li, CHEN Yong, REN Jun. Development of Power Bidding Support System Based on J2EE and Component Technology[J]. Electrical Equipment, 2004, 5(12): 48-51.
- [12] 杜松怀. 电力市场[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.

收稿日期: 2009-03-27; 修回日期: 2009-08-26

作者简介:

潘虹(1982-), 女, 助理工程师, 主要从事电力市场及供电相关研究; E-mail: panhong20010871@163.com

魏杰(1981-), 男, 硕士研究生, 主要从事数字化变电站及调度自动化研究;

陈奇志(1970-), 女, 硕士, 副教授, 主要从事调度自动化及相关网络通信技术的研究。