

在线暂态稳定计算程序的设计与实现

徐 箭,袁荣湘,陈允平

(武汉大学 电气工程学院,湖北 武汉 430072)

摘要:提出了一种基于 COM 组件技术的在线暂态稳定计算程序的设计与实现方法。着重介绍了通信模块、暂态稳定计算模块以及结果输出模块的实现方法。基于 IEC 61970 标准设计的通信模块使得在线计算程序的“即插即用”成为可能。采用基于 COM 的统一接口设计以及数据结构设计,提高了程序的灵活性和可重用性。最后,简单介绍了基于分布式组件技术的暂态稳定时间并行计算的实现方法。

关键词:在线;暂态稳定;COM;IEC 61970;统一接口

中图分类号: TM 744

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)05-0054-03

0 引言

传统的面向过程离线计算的暂态稳定计算程序已经不符合现在电力系统“在线计算、实时匹配”的稳定控制与决策的要求。开发在线暂态稳定程序是现在研究的热点^[1~4]。

IEC 61970 系列标准是国际电工委员会(IEC)第 57 分会(电力系统控制与相关通信)第 13 工作组制定的一套国际标准,即:能量管理系统应用程序接口(EMS-API)标准。该标准的定义使电力系统各种应用以及 EMS 能够不依赖信息的内部表示存取公共数据和交换信息。本文设计的基于 IEC 61970 标准的通信模块使得在线计算程序与各种基于此标准的 EMS 系统的“即插即用”成为可能。

COM 是微软提出的组件标准,它定义了组件程序之间进行交互的标准,并且提供了组件程序运行所需的环境。在运行时各个组件可以连接起来构成应用,当需要对应用进行修改时,只需要把相应的组件替换成新的版本即可,从很大程度上提高了软件的灵活性和重用性。

本文设计的基于 COM 的在线暂态稳定计算程序,各个实现暂态稳定计算的核心模块都设计成相应的 COM 块。按照一定的接口标准,用户可以用自己设计的 COM 替代相应的 COM 块,实现软件的升级。

1 基于 COM 的暂态稳定计算程序简介

基于 COM 的暂态稳定计算程序数据流程和调用关系如图 1 所示。图中,单向箭头表示模块之间的调用关系,双向箭头表示数据的交换。程序通过通信模块获取电网的实时数据,如网络结构、系统潮流、故障信息等,形成暂态稳定计算所需的电网基础数据库。暂态稳定计算模块是整个计算的核心模块,它由 5 个模块构成,其中微分、代数方程组求解

模块负责调用故障模拟、复杂故障计算、代数方程组解法、微分方程组解法 4 个模块,进行暂态稳定计算。计算过程中各个模块都直接从电网基础数据库中获取相关的计算数据,并修改其中相应的数据以实现各个模块之间的数据交换。暂态稳定计算完成后,根据各个模块返回的数据形成计算结果库,结果输出模块根据用户的需要以文件、报表、曲线或图形的方式输出。

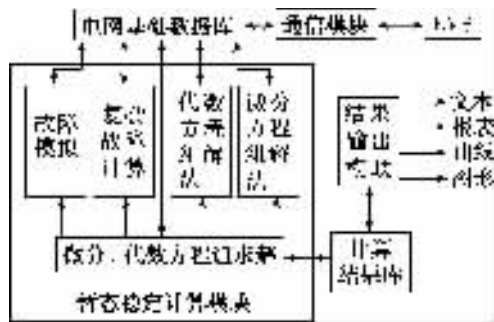


图 1 各模块之间的数据流程和调用关系
Fig.1 The data flows and calls between modules

2 软件模块设计

2.1 通信模块^[5]

IEC 61970 标准是在美国电力科学院控制中心 API(简称 CCAPI)研究项目的基础上提出的,其目的是为了在开发一个 EMS 的新应用时能有效降低费用和开发时间,同时保护在已有应用程序上的投资。该标准由 3 部分组成:描述数据结构的公用信息模型(CIM);允许程序之间通信的信息总线接口(MBI);提供 CIM 数据交换标准的公用数据交换接口(CDA)。为了更好地实现程序的即插即用,本文通信模块是针对采用了 IEC 61970 标准的 EMS 系统而设计的。

传统计算程序中网络结构等参数信息与 CIM 中相应标准模型的参数并不能一一对应,因此需要通

过转换实现相互之间数据的传递。以电网拓扑结构中的线路参数为例,在电网基础数据库中,线路对地参数是以线路对地电纳的一半的标么值给出,为 b_{lh} ,而 CIM 模型中要求的单位是充电无功有名值,转换后的有名值为

$$b'_{lh} = 2 b_{lh} S_B$$

由于 IEC 61970 标准采用了 UML 对电力系统中的各种器件进行面向对象的建模,由一系列类图及它们间的关系表示电力系统的复杂模型。因此,如何实现 UML 中的类图到电网基础数据库中相应数据结构的映射成为通信模块开发的关键所在,其中类之间的关系在映射过程中的实现又是难点。以变压器为例,CIM 中定义的电力变压器的 UML 类图如图 2 所示。

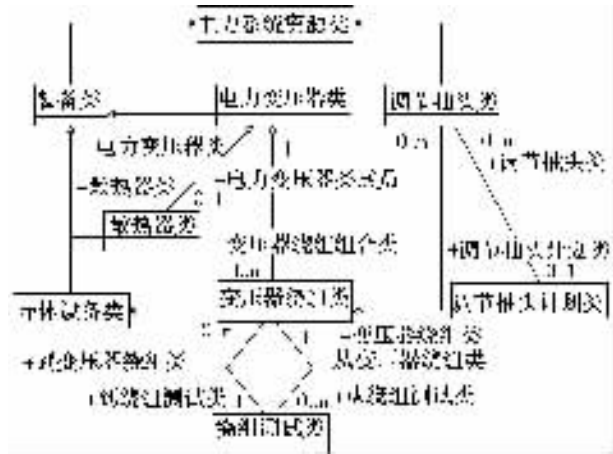


图 2 电力变压器的 UML 类图

Fig.2 The UML module of power transformer

变压器是装备类的一个特定类,图中使用了继承类型的关系,用一个箭头指向装备类。变压器绕组与变压器模型的建立运用了组合类型的关系,使用菱形符号从局部类指向整体类。变压器可能还有一个或多个散热器,由于一个散热器仅属于一个变压器,因此,这种模型建立可以运用 0..1 对 1..1 的 1 对 1 关系。通过把装备类的属性复制到变压器类中的方法可以实现它与变压器类之间的继承关系。变压器类与变压器绕组类之间的组合关系,可以通过在变压器绕组类中放置外键的方法实现,又因为该关系的变压器类的一端是强制性的,所以该外键应该为非空值。同理,变压器类与散热器类之间的 1 对 1 关系,也可以通过在散热器类的一端放置外键且非空实现^[6]。

2.2 暂态稳定计算模块

为实现数据接口的统一,根据各功能模块对于数据的需求进行分类整理,将图 1 中电网基础数据库的数据定义成包含公有变量结构体和 5 个功能变量结构体的结构体数组 STR,其中公有变量结构体包含电网结构信息、潮流信息等各个计算均需要的数据,5 个功能变量结构体是按照 5 个功能模块的数据需求进行整理的。这样可以通过指针 STR 实现电

网基础数据库与各个功能模块之间的数据传递而无需格式转换。由于数据量很大,采取了分层指针数组的结构体构造方法,即按照功能指针、子程序指针、子程序结构实体的构造方法,较好地克服了 Compaq 编译系统对于结构体规模的限制。为每一个功能模块都定义了如下接口^[7]。

```
Interface ISolveDiffer; IDispatch
{typedef struct _STR {.....} STR;
//定义电网基础数据库数据结构;
typedef struct _STR1 {.....} STR1;
//定义计算产生的非电网基础数据库数据结构
typedef struct _STR2 {.....} STR2;
//结果库相应数据结构
[id(1), helpstring("method CallProgram")] HRE-
SULT CallProgram ([in,out] STR * Stab, [in,out]
BOOL * ier);
[id(2), helpstring("method ReturnUPI")] HRE-
SULT ReturnUPI([in,out] STR1 * SdUPI, [in,out]
BOOL * ier);
[id(3), helpstring("method ReturnResult")] HRE-
SULT ReturnResult([in,out] STR2 * SdResult, [in,
out] BOOL * ier);
};
```

该接口中包含了 CallProgram(),ReturnUPI()和 ReturnResult()3 个操作。其中操作 CallProgram()主要是负责调用已有应用程序,将电网基础数据库中的数据以结构体的方式(Stab)传递给应用程序,应用程序完成相关运算后,对电网基础数据库中的公有变量结构体和相关功能变量结构体数据进行修改,然后返回给客户端;操作 ReturnUPI()主要是负责将已有应用计算后生成的非电网基础数据库的内容(SdUPI)显示在客户端,主要用于用户自定义程序之间的通信;操作 ReturnResult()负责从服务端计算出来的结果文件中抽取特定数据,并将它们放在一个已经定义好的结构体(SdResult)中,将该结构体作为参数传到客户端,用于形成结果数据库。操作中的布尔型变量 ier 为计算异常标志。

2.3 结果输出模块

结果的输出有文件、报表、曲线、图形 4 种方式。系统根据各个模块中操作 ReturnMainData()返回的数据形成结果数据库,并且根据用户选择的方式进行输出。文件输出方式可以通过载入专家系统,结合相应的计算结果,实现综合报告的自动生成;报表输出方式可以清楚、详细地列出具体的计算数据及其中间计算过程;曲线输出方式根据用户选择的变量,可以比较清楚地描述相关变量的变化趋势以及不同变量之间的对比;图形输出方式可以比较直观地反映功角越限、电压越限、动态安全域等信息。下面以曲线输出为例,介绍结果输出模块的实现方法。

曲线输出部分做成基于 COM 的 ActiveX 控件,

其核心功能是负责对结果数据库中的数据以曲线的形式显示。该控件的接口如图3所示。其中 IDrawGraph 是曲线绘制接口, IStore 是曲线存储接口, ISet 是曲线控件设置接口, 客户端应用可调用其中的方法定制应用。

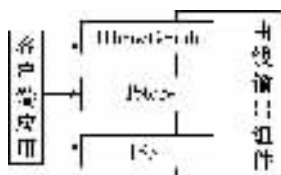


图3 曲线输出组件接口
Fig.3 The interfacing of curve output module

利用 MFC 的 ActiveX 控件向导, 可获得 ActiveX 控件的基本框架, 利用向导方便添加接口方法, 再利用 MFC 的 CDC 类的函数, 运用 GDI 对象可以顺利完成该控件的实现^[8]。图4给出了 IEEE 9 节点系统测试结果, 曲线1, 2 分别为1号和3号发电机相对于2号发电机的功角曲线波形。

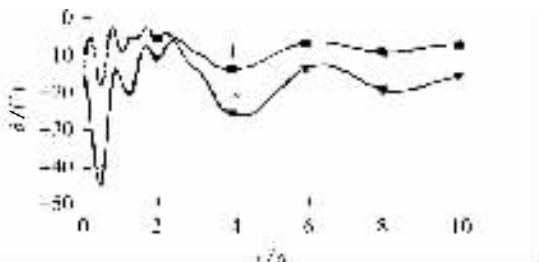


图4 IEEE 9 测试系统功角曲线
Fig.4 The power angle curves of IEEE 9 test power system

3 后续工作

随着电网规模的扩大, 网络拓扑结构越来越复杂, 由于简单故障的连锁发生而最终导致大范围停电的严重事故发生的可能性逐渐增加。如何在最短的时间内作出决策, 将故障隔离在最小的范围内成为人们研究的热点, 而实时刷新的对策表是解决这个问题的最理想方案, 这也必然提出了超实时的暂态稳定计算的要求。但是, 网络规模扩大导致的巨大计算量是传统的串行计算程序所不能胜任的。因此, 开发并行的计算程序成为当务之急。在本文开发的面向对象的程序的基础上, 引入 DCOM 技术, 通过模块的并行化, 可以实现暂态稳定计算的时间并行化。

考虑在集群系统上实现暂态稳定计算的时间并行。主控机可以将计算任务按图1所示的模块 (DCOM) 分配给不同的节点机进行计算, 从而实现多任务的时间并行计算, 具体实现如图5所示 (图中 x 为并行机号, y 为任务号)。

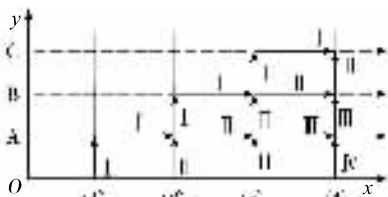


图5 时间并行示意图
Fig.5 The sketch map of parallel-in-time

图中, 任务 A, B, C 的串行计算子任务 I, II, III, IV 被分配到节点机①, ②, ③, ④上并行计算, 从图中可以看出采用这种方式的时间并行, 可以提高多任务的处理速度。如前所述, 采用 COM 技术的程序设计, 有利于将计算任务分配到各个处理器上运行。

4 结论

本文设计的基于 COM 组件技术的在线暂态稳定计算程序是传统的离线计算、面向过程的程序的一次有效改进。基于 IEC 61970 国际标准设计的通信模块实现了程序在线计算功能的扩展以及与各种 EMS 程序之间统一的接口, 用户使用方便灵活。定义统一的接口形式以及数据结构, 便于程序升级, 用户可以根据需要对程序添加或是修改其相应的计算方法。提供的4种结果输出模式使用户能很方便地分析及利用这些计算结果。

参考文献:

- [1] 钟德成, 房大中, 黄杰波, 等. 基于数据库系统的电力系统暂态稳定在线预防性控制算法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(10): 40-44.
ZHONG De-cheng, FANG Da-zhong, HUANG Jie-bo, et al. A database approach for on-line dynamic preventive control [J]. **Automation of Electric Power Systems**, 2004, 28(10): 40-44.
- [2] 吕东晓, 李勇, 肖昌育, 等. 华中电网在线稳定控制系统研究与开发[J]. 电网技术, 2002, 26(4): 34-37.
LÜ Dong-xiao, LI Yong, XIAO Chang-yu, et al. An on-line stability control system for central China power system [J]. **Power System Technology**, 2002, 26(4): 34-37.
- [3] KARADY G G, DAOUD A A, MOHAMED M A. On-line transient stability enhancement using multi-agent technique [A]. **Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference** [C]. New York, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2002. 893-899.
- [4] FRITRITS C, MACHADO M, BARBOSA F, et al. On-line security of an electric power system using a transient stability contingency screening and ranking technique [A]. **Proceedings of the Mediterranean Electrotechnical Conference—MELECON** [C]. Cairo, Egypt: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2002. 331-335.
- [5] DL/T 890. 301-2004/IEC 61970-301:2003, 能量管理系统应用程序接口 (EMS-API) 第301部分: 公共信息模型 (CIM) 基础[S].
- [6] 乐江源, 万晓冬. 基于 IEC61970 的电力系统仿真数据库研究[J]. 计算机仿真, 2004, 21(6): 152-154.
LE Jiang-yuan, WAN Xiao-dong. Research on power system simulation database based on IEC 61970 [J]. **Computer Simulation**, 2004, 21(6): 152-154.
- [7] 林涛, 万秋兰, 金华征. 组件技术在电力系统计算软件设计中的应用[J]. 江苏电机工程, 2002, 21(10): 23-24.