

混合型电力专家系统的快速开发方法

赵远强, 韦化

(广西大学电气工程学院, 广西 南宁 530004)

摘要: 提出一种混合型电力专家系统快速开发方法。混合型电力专家系统兼有大量数值计算和复杂逻辑推理。基于该方法, 详细展示了继电保护整定计算专家系统的快速开发过程。系统分为四大模块, 其中: 短路计算模块包含大量的数值计算, 采用 Matlab 语言编写; 整定计算模块具有复杂逻辑推理功能, 采用 Clips 语言编写。运用混合编程技术, 嵌入以 C# 为宿主语言的系统主体。系统开发过程表明: 该方法能显著提高混合型电力专家系统的开发效率, 大大缩短其开发周期。

关键词: 专家系统; 继电保护; 整定计算; 短路计算; 混合编程

Rapid development of mixed expert system for power systems

ZHAO Yuan-qiang, WEI Hua

(College of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: This paper proposes a rapid development method for mixed expert system of power systems which possesses mass numerical calculation and complicated logical reasoning. Applying the idea, an expert system for relay protection setting calculation is developed. The system is composed of 4 modules, where short calculation module involving mass numerical calculation is implemented by Matlab Language and setting calculation module with complicated logical reasoning is based on Clips Language. By employing the mixed programming technology, two modules are imbedded into main routine using C# language. The development process of mixed expert system demonstrates that the method can remarkably improve its development efficiency and shorten its development cycle.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No.50467001) and National Natural Science Foundation of Guangxi Province(No.0448025).

Key words: expert system; relay protection; setting calculation; short circuit calculation; mixed programming

中图分类号: TP18; TM77

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)07-0011-04

0 引言

在专家系统开发领域, Lisp 语言和 Prolog 语言是两种最主要的开发工具, 但是, 由于这两种语言长于逻辑推理而拙于数值计算, 同时其程序在流行的 PC 机型 (IBM 兼容机) 上执行效率比不上一般的数值计算语言, 如 C++ 等, 造成不少电力软件开发开发者舍弃语言“粒度”更大的 Lisp 和 Prolog, 而采用 C++^[1], C#^[2], Delphi^[3] 等高级语言来开发电力专家系统, 出现类似于用泥沙而不是用砖头来建房子的尴尬。

混合型电力专家系统的业务逻辑兼有大量数值计算和复杂逻辑推理, 如果采用 C++ 之类的高级

语言开发, 其复杂性将进一步增大, 开发过程中的调试量和系统后期维护的工作量都非常可观^[4,5]。鉴于以上情况, 作者把混合系统的业务逻辑在结构和功能上划分为数值计算和逻辑推理两个模块, 数值计算模块采用 Matlab 语言开发, 而逻辑推理模块则采用 Clips 语言开发, 进行混合编程, 最后再把两个模块嵌入第三方语言开发的主程序, 则可显著提高开发效率。

混合编程时需要屏蔽掉各语言的“异质性”, 即各模块之间存在一个接口问题。各语言开发的模块必须遵循共同的接口规范才能整合成一个整体, 本文使用 DLL (或 COM) 作为接口的规范^[6]。

在各种电力软件中, 继电保护整定计算软件专家系统的开发是一个棘手的课题, 若根据整定计算的不同计算阶段的算法特点, 分别采用合适的编程

基金项目: 国家自然科学基金 (50467001); 广西自然科学基金桂科自 (0448025)

语言则可以显著降低开发难度,阶段一:不同运行方式下的短路计算,用 Matlab 开发较适宜;阶段二:根据规程和电网结构进行整定计算,用 Clips 开发较适宜。本文通过介绍继电保护整定专家系统的开发过程,展示了“Matlab+Clips”混合编程法在混合型电力专家系统开发中无可比拟的优势。

1 方案设计

1.1 系统结构设计

获取继电保护整定值的完整流程包括短路计算和整定计算两个部分,由此相应得到下面整定计算专家系统的整体结构,划分为四个功能模块,如图 1 所示。

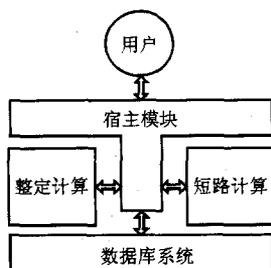


图 1 系统结构

Fig.1 Structure of mixed ES

宿主模块。该模块是系统框架,是另外三个模块“寄宿”的主体,功能上包括系统界面和逻辑控制两个部分。其中,系统界面连接用户,接受用户对专家系统的干预或反馈系统求解的结果给用户;逻辑控制部分则用于组合另外三个模块,以便协调和控制它们的工作。本模块用 Visual C#语言进行开发。

短路计算模块。该模块进行各种典型方式组合下的短路计算,以及相关的网络等值、分支系数计算等,负责所有计算量大的数值计算。本模块用 Matlab 语言进行开发。

整定计算模块。该模块利用短路计算模块的计算结果,根据专家经验(整定工程师经验和各种整定计算规程)完成整定值的计算。本模块用 Clips 语言进行开发。

数据库系统模块。该模块承担短路计算原始数据数据库、专家系统知识库、整定计算结果数据库等角色,担负起所有大量数据存放和管理的任务,包括:网络参数、设备参数、整定计算专家经验、推理的过程解释数据、整定计算结果等。本模块用 Microsoft Access 进行开发。

1.2 开发工具介绍

下面介绍本系统所用到的开发工具。Microsoft Access 和 Microsoft Visual C# 都是常见的软件开发工具,介绍从略。

Matlab^[7]是 Math Works 公司的软件产品,广泛应用于数值计算和矩阵运算,在国际学术界被认为是准确、可靠的科学计算标准软件。Matlab 语法简单,贴近人类求解数学问题的思维,编程犹如在便笺上列公式求解,它内置了众多高精度、高可靠性的函数库,在算法实现上拥有比其他高级语言高得多的开发效率。但是由于其执行效率低、图形界面开发能力差等缺陷,限制了它在商业软件开发中的应用。

Clips (C Language Integrated Production System) 全称 C 语言集成产生式系统,是 NASA (美国国家航空航天局) 约翰逊太空中心于 1985 年开发的专家系统推理引擎,功能相当强大,软件可移植性好。Clips 后来转向民用,并且免费向外界提供源代码,用户可以根据自己的需要随意修改其源码,其后续版本也在不断更新。从发布之日到今天,Clips 已经广泛应用于政府、工业和学术机构。由于 Clips 是剥离了专家系统知识库的推理引擎,用户只需将其嵌入其他高级语言编写的系统主体,便可以直接利用它的诸多优点,给专家系统开发者节省相当多的时间和精力^[8]。

2 模块间的连接与通讯

各个模块必须组成一个有机整体才能形成一个完整的整定计算专家系统,即模块之间存在一个通讯问题。

由系统的结构图可以看到,通讯分三个部分:

①数据库系统模块与宿主模块的通讯;②短路计算模块和宿主模块的通讯;③整定计算模块与宿主模块的通讯。在这里宿主模块既是协调控制机构也是通讯的中间媒介。下面介绍三个模块与宿主模块的连接与通讯:

①数据库系统和宿主模块的连接与通讯。由于数据库系统使用 Microsoft Access,通过相应数据库驱动程序就可轻松实现与宿主模块的通讯与连接。以下是一个简单的例子:

```
string cs = "Provider = Microsoft.Jet.OLEDB.4.0; Data Source=D:\PowerSystem.mdb ";
OleDbConnection cn = new OleDbConnection(cs);
cn.Open();
string os = "select * from 支路信息";
```

```
OleDbCommand cmd = new OleDbCommand(os,cn);
OleDbDataReader dr = cmd.ExecuteReader();
while (dr.Read())
{
    string name = dr["节点有功"].ToString();
    ... ..
}
dr.Close();
cn.Close();
```

②短路计算模块与宿主模块的连接与通讯。短路计算模块用Matlab编写, 对应的源文件用Matlab自带的Comtool工具编译成com组件, 这个com组件可以被C#调用。调用方法举例如下:

```
//初始化短路计算类ShortClass的实例S
ShortCOM: ShortClass S = new ShortCOM: ShortClass ();
//对短路计算进行干预, 设定计算类型为三相短路Object
ShortType=3.0, ReturnSign=null;
S.ShortCaculation(1, ref ShortType, ReturnSign);
```

其中, 少量的变量输入与输出采用上述方式, 该方式用于用户对短路计算的干预, 当大量变量读入时, 例如短路计算原始数据, 采用短路计算组件ShortCOM直接读取数据库中数据的方式。

为保证短路计算模块的成功开发, 必须注意四点:

1) 为兼容Matlab中的数据存储方式, C#中对输入参量赋值应带小数位, 如整数3, 写成3.0。

2) Matlab开发出来的COM组件必须具备相应的软件环境才能执行, 可通过组件打包后在目标机器安装来部署COM组件的执行环境和注册COM组件。

3) 由于Matlab自带的COM组件注册工具mwregsvr.exe和操作系统自带的COM组件注册工具regsvr32.exe均不支持中文路径, 故目标机器安装路径不能带中文。

4) Matlab7.X的编译原理和旧版不同, 其编译出来的COM组件执行效率低, 且组件支持环境MCR(Matlab Component Runtime)体积过于庞大, 建议采用Matlab6.5版。

③整定计算模块与宿主模块的连接与通讯^[7]。整定计算模块主要完成推理功能, 用Clips语言编写, 在本系统中, 将Clips推理机引擎直接嵌入主程序, 用Clips语言编写的脚本可以被主程序利用Clips引擎来执行。这里采用被美国Mommosoft公司改写过的Clips引擎, 该公司将Clips引擎改写成两个文件

以方便托管代码的调用: Clips32.dll是未托管代码编写, 实际上是修改过的Clips引擎; 另外一个文件ClipsNET.dll是托管代码编写, 可视为一个接口, 是一个建立在平台调用服务PInvoke (Platform Invocation Services) 上的库文件, 用户可以通过它来调用Clips32.dll中的未托管函数。

在调用相应的函数前, 应该首先在开发环境设置对ClipsNET.dll的引用, 注意, 这是一个程序集, 不是COM组件, 无须注册。Clips32.dll仅仅是一个动态库文件, 它不是程序集, 也不是COM组件, 和ClipsNET.dll存放于同一目录下即可。调用方法举例如下:

```
ClipsEngine ce = new ClipsEngine();
ce.Load("RelayProtection.clp");
ce.Reset();
ce.Run();
```

下面举例一个简单的整定计算脚本文件:

```
(deftemplate protection (slot type))
(deffacts Relayfacts
    (protection (type "距离一段"))
    (protection (type "距离二段")))
(defrule RelayRules (protection (type "距离一段"))
=>
(assert (protection(type "计算距离一段"))))
```

为了便于管理, 作者用Microsoft Access数据库来存储整定规程等原始数据, 即所谓知识库的角色由数据库系统来承担, 上述脚本文件利用数据库中数据, 在程序运行的过程中动态生成。为了提高程序的可读性, 上述同时存储规则和事实的脚本文件可拆分成两部分, 推理规则存放在“规则.clp”文件中, 推理事实存放在“事实.clp”文件中。

通过上面的方法, 就可实现三个模块与宿主模块的无缝衔接, 构成一个功能完善的整定计算专家系统。

3 开发方法比较

短路计算模块和整定计算模块是系统的核心模块, 是“Matlab+Clips”混合编程法的集中体现。下面通过讨论三种编程语言的特点, 对混合编程法和以C++为典型语言的传统法的优缺点进行分析比较。

1) 对短路计算模块, 开发方法比较如下:

代码与算法。Matlab算法成熟, 集成了大量的数学函数, 非常容易调用, 例如方程组的求解只需

要进行矩阵的右乘或左乘即可,编程代码量很少,可维护性好,开发效率高;C++只集成少量数学函数,很多数学算法需要开发者自行实现,代码量庞大,调试复杂,可维护性差,开发效率低。

执行效率。Matlab属于解释执行,效率差;C++则是编译执行,效率高。但是,在本文中,采用Matlab编写的短路计算模块为了嵌入主程序,已经编译成动态链接库,属于编译执行,故效率并不比C++差,若考虑到先进的算法能有效减少执行时间,Matlab语言的优势就更明显了。

2)对整定计算模块,开发方法比较如下:

代码:Clips有现成可用的推理机引擎,Lisp风格的语言使得模块的代码开发量,调试量都很小;C++语言需要用户自行开发推理机引擎,而作为一种数值计算语言,勉力进行复杂逻辑推理的软件开发,必然造成代码开发量,调试量庞大。

算法。Clips在模式匹配时采用先进的Rete算法^[7],并集成了完善的规则触发机制,规则的优先级特性和反射特性可有效防止规则的触发冲突和反复触发;C++语言开发的专家系统,为降低开发难度,常采用规则驱动事实的方式,推理效率比Rete算法几乎慢一个数量级,此外,用户还需要自行设计规则触发机制和规则冲突消解机制。

执行效率:Clips是解释执行的,逊于C++的编译执行。但是,除非C++开发者抛弃常用的“规则驱动事实”推理方式,也采用Rete算法^[7](该算法繁杂而又难以理解),否则,Clips的算法优势将足以抵消其解释执行的缺陷,使得其执行效率比C++更高,并且专家系统知识库越大,其算法的效率优势越明显。

混合系统的业务逻辑是短路计算和整定计算,它们的开发效率和执行速度直接决定整个系统的开发效率和执行速度。由上可见,使用“Matlab+Clips”混合编程,相比C++语言,其算法、函数等集成多,代码“粒度”大,开发量少,能够有效提高开发效率。理论上,只要算法等同,由于C++语言的全编译执行,系统执行效率会比本文的混合编程法(整定计算模块是解释执行)稍高。但是,考虑到一般开发者的算法运用和编程技能方面很难达到Matlab、Clips开发者的水平,混合编程法的执行效率在小数据量时会接近C++,在大数据量时可望超过C++。

4 结论

传统上使用C++之类的高级语言进行混合电力专家系统的开发,以避免其用Lisp和Prolog开发时导致的执行效率低、兼容性差等问题,但又产生系统开发周期长、可维护性差的缺点。

本文所提出的方法,虽然在编程技能上,对开发者有更高的要求,但使用“Matlab+Clips”混合编程法,不仅使混合型电力专家系统具有出色的数值计算和逻辑推理能力,而且能显著提高其开发效率,同时又拥有良好的可维护性和执行效率。

参考文献

- [1] 刘涤尘,张琳,齐晓曼.电力系统继电保护信息分析管理专家系统的实现[J].继电器,2005,33(4):63-65. LIU Di-chen, ZHANG Lin, QI Xiao-man. Implementation of Relay Information Analysis and Management Expert System for Power System [J]. Relay, 2005, 33(4): 63-65.
- [2] 林媛媛,王建华,刘志峰,等.智能化操作票专家系统的研究[J].继电器,2005,33(24):59-62. LIN Yuan-yuan, WANG Jian-hua, LIU Zhi-feng, et al. Research of an Expert System for Generating Operation Sequences of Substation [J]. Relay, 2005, 33(24): 59-62.
- [3] 杨继涛,胡明,吴琼,等.电网调度操作票专家系统的设计与开发[J].继电器,2004,32(15):45-47. YANG Ji-tao, HU Ming, WU Qiong, et al. Design and Development of Dispatching Sheet Expert System for Power Network [J]. Relay, 2004, 32(15): 45-47.
- [4] 朱永利,宋少群,朱国强,等.地区电网保护定值在线校验智能系统[J].电力系统自动化,2005,29(6):87-91. ZHU Yong-li, SONG Shao-qun, ZHU Guo-qiang, et al. An Intelligent System for On-line Verification of Relay Settings in Sub-transmission Networks [J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(6): 87-91.
- [5] 邱晓燕,唐海平,李兴源,等.基于专家系统和数值计算的电力系统恢复[J].中国电机工程学报,1996,16(6):413-416. QIU Xiao-yan, TANG Hai-ping, LI Xing-yuan, et al. Power System Restoration Based-on Expert System and Numerical Computation [J]. Proceedings of the CSEE, 1996, 16(6): 413-416.
- [6] Rogerson D. COM技术内幕[M].杨秀章,译.清华大学出版社,1999.
- [7] 张智星. Matlab程序设计与应用[M].北京:清华大学出版社,2002.
- [8] Giarratano J, Riley G 专家系统原理与编程[M].印鉴,等译.北京:机械工业出版社,2000.

收稿日期:2006-09-08; 修回日期:2006-12-28

作者简介:

赵远强(1981-),男,硕士研究生,研究方向为专家系统与继电保护;E-mail: zhyqmail@163.com

韦化(1954-),男,教授,博士生导师,研究方向为最优化的理论及其在电力系统的应用等。