

# 多 Agent协作的电网保护定值校验智能分析系统

迟福建<sup>1</sup>, 李铁<sup>2</sup>, 朱永利<sup>3</sup>

(1. 天津市滨海供电公司, 天津 300450; 2. 辽宁省电力公司调度通信中心, 辽宁 沈阳 110001;

3. 华北电力大学计算机学院, 河北 保定 071000)

**摘要:** 继电保护装置定值的整定与校验是密不可分的, 整定计算出来的定值能否适应电网运行方式的变化, 满足灵敏性、选择性、速动性的要求, 一直是电力系统研究的热点。该文将多 Agent技术引入到电网定值的校验, 提出了多 Agent系统协作求解问题的方法。根据检测 SCADA系统传来的实时开关状态和电网参数的变化, 及时快速地校验电网的保护定值是否合理, 为辅助运行人员和继电保护工程师调整保护装置的定值提供决策支持。

**关键词:** 继电保护; 定值校验; 智能分析; Agent

**中图分类号:** TM77      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897(2005)23-0001-04

## 0 引言

继电保护在电力系统中具有极其重要的作用, 保护定值是否合理直接关系到电力系统的安全稳定运行。灵敏性、选择性和速动性是对保护定值的基本要求, 这些要求往往是互相矛盾的, 所以导致电力系统继电保护的运行问题至今仍未很好地解决, 主要表现在: 固定的保护定值无法适应系统的动态变化; 后备保护整定时间过长<sup>[1]</sup>; 遇到不合理的保护定值只能离线计算, 停电调整。这样整定出来的定值往往是在各种矛盾中寻求的折中和妥协, 为了满足某一方面的要求而不得不降低其它方面的要求。因此, 有可能存在不合理的定值或隐藏的错误, 在电力系统正常运行不被发现, 而当系统故障时, 错误的保护定值可能引起保护的错误动作, 引发大面积的停电事故。

随着分布式人工智能 DAI (distributed artificial intelligence) 技术在软件及控制领域中的广泛应用, DA 的一个分支——多 Agent 系统 MAS (multi-agent system) 已经引起电力系统研究人员的重视<sup>[1]</sup>。自二十世纪九十年代 Agent 被引入电力系统以来, Agent 技术在电力系统故障诊断、电网调度管理、电网运行以及电力市场决策支持系统等方面已经进行了一定的研究, 某些相关技术已得到初步应用。

## 1 多 Agent 技术及其在继电保护中的应用

### 1.1 Agent 及多 Agent 技术

Agent 一词, 国内研究人员多将其译为主体或智能体, 最初形成于分布式人工智能领域, 可以是硬

件机器, 也可以是计算机程序。一般认为一个 Agent 应该具有自治性、反应性、社会性和能动性。Agent 能够在特定条件下感知周围的环境及其变化, 并能自主地进行相应的处理 (各类 Agent 往往只满足于它们所存在的环境<sup>[2]</sup>)。

多 Agent 系统 (MAS) 是由多个 Agent 组成的系统, 它在 Agent 理论的基础上重点研究 Agent 的互操作性, 内容包括 MAS 的结构、如何用 Agent 进行程序设计 (AOP), 以及 Agent 间的协商和协作等问题<sup>[2]</sup>。在多个 Agent 的协作的情况下可以尽量减少用户的干预, 依靠 Agent 自身的能力, 完成用户委托的较为复杂或繁琐的任务。

### 1.2 Agent 在继电保护中的应用

Agent 及多 Agent 技术在继电保护方面的研究始于 1995 年。Wong 和 Kalam 在 1995 年的“能量管理和电力输送 国际会议及 1996 年“智能系统在电力系统中的应用 国际会议上提出了将多 Agent 技术应用于电力系统继电保护的设计、分析和评估, 以减轻继电保护工程师的工作负荷并提高效率<sup>[3]</sup>。

国内电力系统中对 Agent 的研究起步比较晚, 但是经过研究人员的不懈努力, 也取得了一定的研究成果。特别是近几年来, 随着通讯技术的发展, 保护装置可以在线获得足够的信息, 也可以满足分布式系统实时协调的要求, 因此, 电力系统研究人员已经开始了多 Agent 系统在继电保护领域的实用化研究。华中科技大学电气与电子工程学院的陈艳霞、尹项根等做的《基于多 Agent 技术的继电保护系统》研究, 通过在加速后备保护动作方面的仿真试验, 证明了基于多 Agent 系统在继电保护领域的可行性。

本文将多 Agent 技术应用于继电保护装置定值的校验,通过多 Agent 协作校验当前运行方式下的保护定值是否满足灵敏性、选择性和可靠性的要求。

## 2 多 Agent 系统的模型及各 Agent 工作原理

Agent 技术的两个发展方向是构造结构复杂、知识丰富和功能强大的单 Agent 系统,以及用多个结构和功能较为简单的 Agent 组成一个 MAS,通过多个 Agent 间的协作,使整个系统具有丰富的知识和强大的功能<sup>[2]</sup>。

### 2.1 多 Agent 协作系统的模型

对电网的保护定值进行校验,主要完成如下工作:通过读取 SCADA 系统传来的开关状态和数据库管理系统存储的电网参数,对电网进行拓扑分析,找出线路上保护之间的配合关系,根据部颁规程对相应的保护定值校验,校验完毕后输出校验结果,并对校验结果给出解释说明。各个工作模块条理清晰、分工明确,因此,采用多 Agent 协作较为合适。

定值校验系统中的 Agent 按照实现的功能不同分为数据采集 Agent、分析推理 Agent、系统检测 Agent、核心控制 Agent 和智能人机界面 Agent,它们的共性是都以协作作为其运行的基础<sup>[2]</sup>。基于多 Agent 协作的电网保护定值校验智能分析系统的工作模型如图 1 所示。

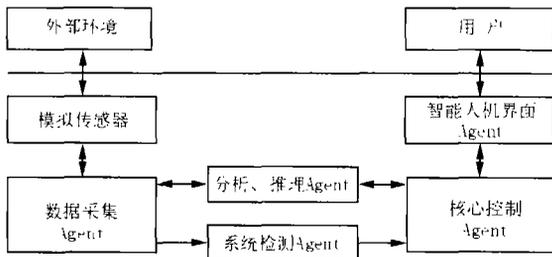


图 1 多 Agent 协作的系统模型

Fig 1 System model of multi-Agent cooperation

由图 1 可见,可以把整个多 Agent 系统看作一个黑箱,通过感知器(模拟传感器)感知外部环境,通过智能人机界面 Agent 与系统进行交互,而当系统监测 Agent 监测到开关状态或者电网参数发生变化时即启动系统对当前运行方式下的保护定值进行校验。

### 2.2 基于 BDI 模型的 Agent 一般结构

信念-愿望-意图 BDI (Belief - Desire - Intention) 模型是 Agent 模型中最具有影响力的。信念表示一个 Agent 对环境和自身所持的观点,愿望和意图都是 Agent 希望作某事的状态,通常的区别是意

向可以作为衡量承诺 (commitment) 的一个尺度,用来引导和控制 Agent 在未来所作的行为。也就是说:一个 Agent 可能有某种愿望,但有可能永不去履行它;而一旦 Agent 有某种意向,则这种意向将导致 Agent 寻求合适的手段达到这一意向,直到这个意向结束为止。换句话说,意向推动 Agent 去行动,而且意向还对 Agent 未来所作的行为进行引导<sup>[4]</sup>。

基于 BDI 模型的 Agent 一般结构如图 2 所示。

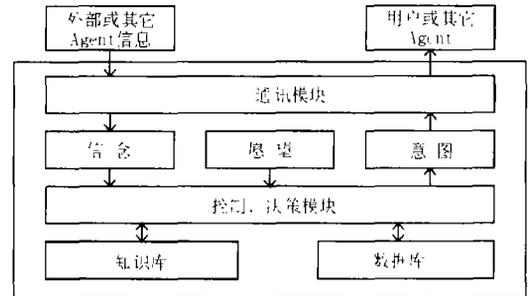


图 2 Agent 的一般结构

Fig 2 Common structure of Agent

### 2.3 各 Agent 的工作原理

#### 1) 数据采集 Agent

数据采集 Agent 是系统与外部环境进行交互的接口,通过模拟传感器完成数据采集。在系统处于休眠状态时,实时采集 SCADA 传给计算机系统的开关状态和数据库管理系统存储的电网参数,与系统监测 Agent 配合,监视开关状态及电网参数的变化。之所以将数据采集与系统监测分成两个 Agent 是将数据采集 Agent 作成移动 Agent,若在本机找不到系统所需数据时可以通过通信协议在局域网内查找相关数据返回给系统,这样不但提高了系统解决问题的能力(并不是每台机器里面都包含系统所需全部数据),而且可以减少每个 Agent 的工作量。

#### 2) 分析推理 Agent

分析推理 Agent 主要完成电网的知识表示和拓扑分析功能,这部分是系统工作的基础。

电网中的各种设备和连接情况可以通过其属性(如额定功率、电压等级)和操作(如跳闸、合闸)进行完整的表达。与保护定值校验相关的一次设备有发电机、变压器、母线、开关、刀闸、线路、电容、电抗等,二次设备有线路保护、变压器保护。对于电网模型的知识表示,采用面向对象的知识表示法,设计相应的类(Class)或结构(Structure)来实现。

电网拓扑分析的功能是根据数据采集 Agent 采集的实时开关状态,把整个电网表示成能用于保护

定值校验的节点——支路模型,并且识别相互独立的子系统(电气岛)。电网结构的拓扑分析,可以分为两个部分:一是站内拓扑分析,根据断路器和隔离开关的开合状态来判断厂站内应分为多少个节点;二是网络的搜索,根据各种电气设备相互连接的情况,确定存在电源和负荷的电气岛为要计算的子系统。

### 3)核心控制 Agent

核心控制 Agent主要用于完成系统的协调控制、定值校验分析、校验结果处理等工作。对于初次投入运行的系统,其知识为零,还不能独立地解决问题。这就要有个对其进行训练的过程,这方面的工作主要由现场有经验的工作人员完成。原始知识积累不是简单结果的累积,而是要“教会”Agent处理问题的方法的过程。

通过通讯模块,核心控制 Agent可以感知外部环境,也可以与外部环境进行交互。对接收到的外部信息进行过滤和分类,把信息传递给推理模块,推理模块根据知识库的历史经验和知识进行推理,最后决策模块根据推理和规则做出决策,再通过通讯模块对外部环境产生动作。

继电保护的定值校验主要在于:首先通过分析推理 Agent找到投入运行的保护装置之间的配合关系,求出分支系数,计算短路电流;然后根据保护的类型调用相应的规则对保护定值的选择性、灵敏性和速动性进行校验。

为了对校验结果进行说明,引入了评价函数  $P(i)$ ,定义  $P(i)$ 为:

$$\begin{cases} P(i) = f(L_i, X_i, S_i) \\ L_{\min} < L_i < L_{\max} \\ X_{\min} < X_i < X_{\max} \\ S_{\min} < S_i < S_{\max} \end{cases}$$

其中:  $L_i, X_i, S_i$  为  $i$ 处保护装置的灵敏性、选择性和速动性要求。

对于  $i$ 处保护装置的定值,  $P(i)$ 不必为全局最优解,只要满足当前运行方式下灵敏性、选择性、速动性的要求,即认为其为该运行方式下的局部最优解。这样一来,对于存储多套定值的保护装置,在不同的运行方式下可以求出相应的局部最优解。核心 Agent通过不断的学习和记忆,逐渐提高其智能水平,在实际运行的过程中,如果遇到类似的问题,可以自主地进行处理或者根据 Agent自身的知识向用户提供最佳的选择方案。

校验结果由智能人机界面 Agent输出,同时生

成校验参考书、保存到文本文件供用户日后分析、参考。校验参考书包括开关动作情况以及此方式下的校验结果、参考意见等等,并可以以报表的形式打印出来。

### 4)智能人机界面 Agent

人机界面是用户和计算机交互的桥梁,是程序内部数据管理和操作的外部表现形式<sup>[5]</sup>。智能人机界面 Agent应该尽可能准确地理解用户的真实任务表达意图,积极主动地采取学习、推理、合作等行为,实现人机智能的结合。而用户也可以通过各种 Windows风格的菜单、工具栏和窗口等自如地操作整个软件,很好地完成人机交互功能。

图 3所示为一种智能人机界面 Agent工作方式。

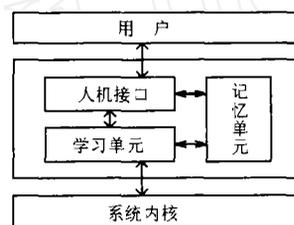


图 3 一种智能人机界面 Agent工作方式

Fig 3 Working mode of an Agent-based intelligent man-computer interface

智能人机界面 Agent通过人机接口不断地将用户的使用情况记录下来,存放在记忆单元中,智能核——学习单元根据记忆单元中用户的使用记录及用户当前的操作分析用户的意图,主动或半主动地配合用户使用。

### 5)系统监测 Agent

该 Agent主动地检测电网的开关状态和参数,若无变化则使系统处于休眠状态,而一旦发生改变则立即启动系统,对当前情况下的定值进行校验;同时给用户发出提示或警告,根据用户的不同反应, Agent利用自身的知识采取相应的措施。引入了系统监测 Agent后,基于外部环境变化触发系统运行,大大降低了计算机内存的占用率,并可减少用户的干预。

## 3 系统的智能分析过程及运行流程

### 3.1 多 Agent的智能分析过程

1)由用户操作智能人机界面 Agent,向系统提出保护定值校验请求。

2)系统初始化,由核心控制 Agent向各相关 Agent发出启动命令。

3)数据采集 Agent通过模拟传感器采集系统运行所需的各种数据并传送给分析推理 Agent及系统监测 Agent

4)核心控制 Agent根据系统监测 Agent提供的信息决定是否启用分析推理 Agent——若系统第一次运行或者有新的开关状态,启动分析推理 Agent,执行步骤 5);否则根据自身所拥有的知识直接向智能人机界面 Agent提交校验结果。

5)分析推理 Agent接受核心控制 Agent发来的命令,对电网结构进行知识表示和拓扑分析,并将结果返回给核心控制 Agent

6)校验完毕,由用户通知智能人机界面 Agent——系统退出运行还是转入休眠状态;若系统转入休眠状态,则关闭其它各 Agent,系统运行于数据采集——系统监测状态。

### 3.2 系统运行流程图

多 Agent协作的系统运行流程图如图 4所示。

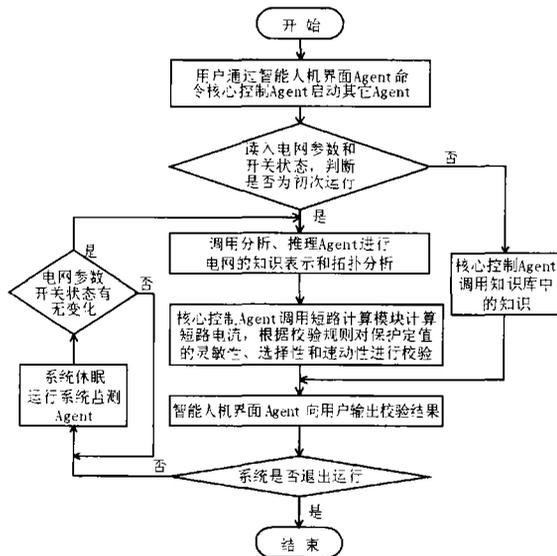


图 4 多 Agent协作的系统运行流程图

Fig 4 Flow chart of multi-Agent system

### 3.3 Agent之间的协调问题

各 Agent相互合作的同时还要考虑到它们之间的协调问题。根据我们上面对各个 Agent的划分可以看到,若某个 Agent在运行中压力较大,将影响到其它 Agent的运行,即出现所谓的系统瓶颈问题。比如说,当系统监测 Agent监测到连续的开关变化而核心控制 Agent处理时间大于开关变化时间时,就会产生系统监测 Agent已经给用户提示或报警而用户却不能通过智能人机界面 Agent看到当前系统运行情况。为了解决系统运行中由于某个 Agent压

力较大而产生的瓶颈问题,可以采用先来先服务、后来先服务、优先级高者先服务的办法,考虑到服务优先级的确定比较困难,采用了前两种方法,而由用户根据实际情况选择使用哪种方法。

## 4 结论

本文在对 Agent及多 Agent技术初步研究的基础上,设计了一个基于多 Agent协作的电网保护定值校验辅助决策系统的模型。与传统的继电保护定值校验系统相比,基于多 Agent协作的校验系统在整体性能上更具有灵活性和适应性,随着分布式计算技术和通讯技术的发展,使得问题的求解可以在网络上通过 Agent的移动来完成,可以进一步适应电力系统控制过程的需要。

本系统于 2004年 6月在河北电力公司某地区电网试运行。目前系统运行良好,部分功能已超过了电力系统专家系统的技术要求,特别是决策支持质量和系统运行的效率方面,得到了用户的充分肯定。

## 参考文献:

- [1] 陈艳霞,尹项根,等.基于多 Agent技术的继电保护系统[J].电力系统自动化,2002,26(12):48-53.  
CHEN Yan-xia, YN Xiang-gen, et al Multi-Agent System Based Protective Relaying System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26 (12): 48-53.
- [2] 杨鲲,翟永顺. Agent 特性与分类 [J]. 计算机科学, 1999, 26(9): 30-34.  
YANG Kun, ZHA I Yong-shun Agent Properties and Classification [J]. Computer Science, 1999, 26 (9): 30-34.
- [3] Wong S K, Kalam A. Development of a Power Protection System Using an Agent Based Architecture [A]. Proc of International Conference on Energy Management and Power Delivery. 1995. 433-438.
- [4] 路军,王亚东.“信念-愿望-意向”Agent的研究与进展 [J]. 计算机科学, 1999, 26(2): 48-51, 47.  
LU Jun, WANG Ya-dong The Studies and Developments of BD I Agent [J]. Computer Science, 1999, 26 (2): 48-51, 47.
- [5] 吴朝辉. Agent界面设计模式 [J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 2001, (3): 36-39.  
WU Zhao-hui Agent Interface Designing [J]. Journal of Qinghai Normal University, Sci & Tech, 2001, (3): 36-39.

收稿日期: 2004-11-10; 修回日期: 2005-08-14

(下转第 8页 continued on page 8)

- DONG Xin-zhou, GE Yao-zhong Algorithm for High Voltage Transmission Line Fault Location Using One Terminal Voltage and Two Terminal Current[J]. Automation of Electric Power Systems, 1995, 19(8): 47-53.
- [4] Girgis A A, Hart D G, Peterson W L. A New Fault Location Technique for Two-and-Three Terminal Lines[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1992, 7(1): 98-107.
- [5] 卢继平,叶一麟. 适用于任何具体结构的输电线路精确故障定位[J]. 电力系统自动化, 1998, 22(11): 40-43.
- LU Jiping, YE Yi-lin An Accurate Fault Location Method Suitable for EHV Transmission Line with Any Line Construction[J]. Automation of Electric Power Systems, 1998, 22(11): 40-43.
- [6] 梁军,孟昭勇,车仁飞,等. 精确双端故障测距新算法[J]. 电力系统自动化, 1997, 21(9): 24-27.
- LANG Jun, MENG Zhao-yong, CHE Ren-fei, et al A New Accurate Fault Location Algorithm for Two-terminal Lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 1997, 21(9): 24-27.
- [7] 贺家李,葛耀中. 超高压输电线路故障分析与继电保护[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- HE Jia-li, GE Yao-zhong The Faults Analysis and Relay Protection of EHV Transmission Lines[J]. Beijing: Science Press, 1987.
- [8] 解可新,韩立兴,林友联. 最优化方法[M]. 天津: 天津大学出版社, 2001.
- XIE Ke-xin, HAN Li-xing, LIN You-lian Optimization Method[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2001.

收稿日期: 2005-04-08; 修回日期: 2005-06-25

作者简介:

王志农(1962-),男,博士,教授,博士生导师,从事电力系统运行分析与控制的教学与科研工作; E-mail: wzn\_nj@263.net

张颖(1982-),女,研究生,研究方向为电力系统运行分析与控制。

### A fault location algorithm for HV transmission line based on two-terminal asynchronous data

WEI Zhi-nong, ZHANG Ying, ZHOU Hong-jun

(School of Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** This paper presents a fault location algorithm for HV transmission line based on two-terminal asynchronous data. The distributed parameter line model is used for the proposed algorithm. It is applicable for long distance lines since shunt capacitance is taken into account. Considering the effect of fault resistance, the technique utilizes asynchronous samples from both terminals. To eliminate the effect of untransposed line, phase components are transformed to modal components. Then the coupled three-phase components are transferred to the decoupled modal components. Powell's direction acceleration method is used in this paper to avoid the complexity of derivation. The simulation results show that the fault location is feasible at any point on the whole line.

**Key words:** HV transmission line; fault location; double line terminals; distributed parameters line; data sampling asynchronous; phase-modal transformation; Powell's direction acceleration method

(上接第4页 continued from page 4)

作者简介:

迟福建(1979-),男,从事电力系统调度运行工作; E-mail: chifj@etang.com

李铁(1979-),男,从事电力系统调度运行工作;

朱永利(1963-),男,教授,博士生导师,研究方向为人工智能技术在电力系统中的应用、电网调度自动化。

### Intelligent analysis system of setting verification in power network protection based on multi-Agent cooperation

CHI Fu-jian<sup>1</sup>, LI Tie<sup>2</sup>, ZHU Yong-li<sup>3</sup>

(1. Binhai District Supply Company, Tianjin 300450, China; 2. The Dispatch and Communication Center of Electric Power Corporation of Liaoning Province, Shenyang 110001, China; 3. North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

**Abstract:** The setting and check of the fixed value of protective relaying equipment is inalienable. It is a hot point whether regulated fixed value is adaptive to the change of power network operation modes and meet the demand of sensitivity, selectivity and rapidity. In the paper, multi-Agent is introduced to the check of electric network fixed value and the solutions to multi-Agent cooperation are presented. Based on the real-time switch condition and the variation of electric network parameters are sent by checking SCADA system, this design can rapidly check whether the protection fixed value of power network is proper and provide decisive support for engineers.

**Key words:** protective relaying; fixed value checking; intelligent analysis; Agent