

# 基于多 Agent 的电压暂降实时分析系统的研究

齐林海, 程庆振

(华北电力大学控制与计算机工程学院, 北京 102206)

**摘要:** 暂降电能质量问题分析对时效性要求越来越高, 但是目前暂降问题的系统多为离线评估方式, 此系统的时效性较差。同时暂降事件在电网中具有一定的传播特性, 事件发生后将会有多个监测点捕捉到事件发生, 为了提高时效性需要对多个监测点监测到的数据同时计算分析。电压暂降分析所具备的分布式、实时性的特征与多 Agent 系统具有高度的一致性。论述了一种基于多 Agent 技术, 采用 JADE 开发平台, 对多个同时捕捉到的电压暂降事件进行实时、并行计算处理的方法。该方法将后台集中计算方式的离线分析处理前移, 实现实时的在线分析处理。该方法使得电压暂降分析的实效性更强, 为及时发现、处理问题赢得时间, 避免造成更大损失。

**关键词:** 多 Agent 系统; 电压暂降; 电能质量; 实时性; 分布式

## Research on real-time analysis system of voltage sags based on multi-agent

QI Lin-hai, CHENG Qing-zhen

(School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** Voltage sag in power quality requires better timeliness. While most of the voltage sag analysis systems are based on off line mode, they all have a bad timeliness. Also voltage sag has propagation property in the power grid. Many monitoring sites will capture the voltage sag event, so in order to get better voltage sag timeliness, all data should be computed in different monitoring sites as soon as they are gathered. This distributed and real time analysis approach shares many similarities with multi-agent system. This paper proposes a JADE-based multi-agent technology to compute voltage sag events in distributed mode in real time. This technology has better timeliness because the analysis is proceeded earlier than the old centralized off-line analysis, which will help trace and resolve the abnormality in time and will definitely reduce the loss due to the abnormality.

**Key words:** multi-agent system (MAS); voltage sag; power quality; real-time; distributed

中图分类号: TM769 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)07-0116-06

## 0 引言

目前, 各省电力公司均已建立了规模不等的电能质量在线监测与分析系统, 对敏感PCC点电能质量指标连续跟踪监测, 对积累的电能质量指标数据采用后台分析处理方式, 实现基于监测点、电压等级、区域电网的电能质量评估<sup>[1]</sup>。

由于监测点多, 数据量大, 分析计算复杂, 完成一次分析评估计算需要较长时间, 为了提高用户的体验, 避免长时间等待, 通常采用定时集中计算处理、保存分析结果、随时调用查询的离线评估方式。这种方式对于稳态指标变化趋势、扰动事件历史数据查询以及电能质量综合评估分析等具有很好

的应用效果。

离线评估方式在系统时效性方面具有一定的局限性。暂态电能质量问题分析对时效性要求很高。它具有突变、非平稳、持续时间短等特性, 需要了解它们在时域和频域中的全局特性, 才能及时正确地系统的各种异常运行状态或故障状态做出诊断, 找出干扰源, 并迅速做出预防或消除方案, 从而提高系统运行的可靠性、安全性和有效性<sup>[2]</sup>。

暂降事件在电网中具有一定的传播特性。事件发生后会在电网一定区域中产生不同程度的影响, 不同的监测点都会捕捉到事件发生, 但是各个监测点暂降影响不同, 暂降幅值、开始时间、持续时间、相位角跳变等暂降特征值会有所不同。通过对不同监测点获取的暂降事件特征值进行分析计算, 实现暂降原因识别和暂降源定位(定向)。综合各个监测

点分析结果, 实现对暂降事件原因和位置的确定。电压暂降分析所具备的分布式、智能化、实时性的特征与多 Agent 系统具有高度的一致性。

本文采用多 Agent 技术, 建立实时在线电压暂降分析系统。当电网中发生电压暂降事件时, 相关的监测点, 在相近的时间内都会捕捉到暂降事件, 通过各个监测点对应的数据采集 Agent 实时响应监测点上报信息; 通过智能管理 Agent 协调调度计算分析 Agent, 实现各个监测点暂降事件并行计算处理; 通过智能管理 Agent 协调和汇总各监测点的分析计算结果, 利用展示 Agent 以短信、E-mail 和屏幕即时显示方式将暂降事件分析结果发布给用户, 使得暂降事件得到及时处理。

## 1 电能质量监测与分析

监测与分析是研究电能质量问题的必要环节, 也是对电能质量治理改善的前提条件。目前, 电能质量监测与分析通常建立在电能质量在线监测网络基础上, 采用前端采集监测数据, 通过电力内部网络将数据传输至后台数据中心, 后台进行数据分析处理, 以 Web 方式实现结果发布。电能质量监测与分析系统结构如图 1 所示。

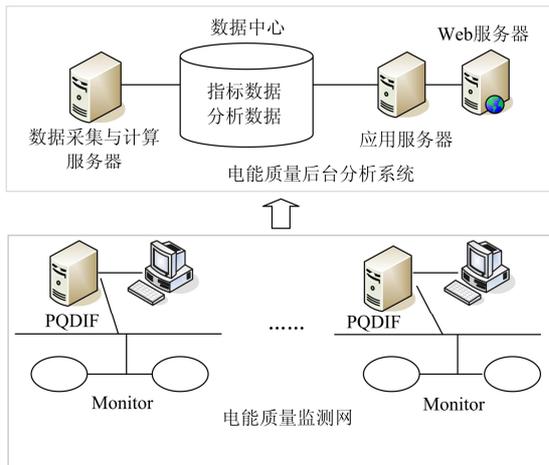


图 1 电能质量监测与分析系统结构

Fig. 1 Power quality monitoring and analyzing system structure

离线评估方式是上述体系结构的主要应用方式, 这种方式的特点是定时集中采集数据、统一存储管理数据、事先计算分析处理、保存分析评估结果、用户随时调用查询。利用离线评估方式可以实现基于一定时间区间的所有电压暂降事件特征值浏览、事件次数分布分析、散点图分析、SAFII 指标分析等; 在稳态分析方面, 可以实现监测点评估和基于电压等级和区域电网的系统评估。但是, 这种

方式遇到的最大瓶颈是集中式的数据处理严重影响系统的时效性, 用户无法即时得到扰动事件的确切原因、位置及特征值等, 影响事故的及时处理。

实时的在线分析评估已经成为电能质量监测与分析领域的研究热点。文献[3-4]论述了在监测点采用主从双 CPU 系统构成的硬件, 实现监测数据高速处理和传输, 利用网络技术和数据库存储管理技术, 通过后台的分析处理, 实现对电网电能质量的实时监测; 文献[5-6]论述了基于虚拟仪器设计实现电能质量实时监测系统, 实现在线监测或离线分析, 具有暂态波形显示, 分析处理; 文献[7]提出了在准确、快速地监测和分析电能质量的基础上, 进一步提出了合理的仿真实理方案。

上述文献在实时处理上主要体现在针对单个监测点可以实时获取暂态事件原始数据, 实时进行暂态指标计算和评估分析。但是, 这还不是真正意义上的实时在线评估, 因为, 发生在电网中的暂态事件通常具有一定的传播特性, 呈现出分布式特征, 一个事件发生会波及一定区域电网范围, 多个监测点均会捕捉该事件。仅仅对一个监测点进行实时计算分析不能准确识别和定位扰动事件, 需要在单个监测点实时计算分析的基础上, 实现多个监测点综合的实时计算分析评估。

## 2 电压暂降分析

电压暂降是最主要的暂态电能质量问题, 造成的经济损失最大。对电压暂降的研究主要集中在特征值计算分析、扰动源识别与定位、电压凹陷域分析、扰动传播特性研究等方面。

### 2.1 电压暂降特征值

电压暂降事件的特征值主要是暂降幅值和持续时间。监测终端检测到电压暂降则会启动录波, 记录三相电压的采样波形, 将采集到的数据按采样点滑动(按 1/2 周波滑动), 计算整周方均根值法得到各相电压的有效值(RMS 值)。然后通过有效值去计算电压暂降特征值。为每一相, 计算 RMS 曲线的最低值, 如果哪一相的值小于 90%, 则该相发生暂降, 相应的最小值就是暂降幅值。从某相电压 RMS 值低于 90%起, 到三相恢复到 90%以上为止之间的时间为持续时间。

### 2.2 电压暂降的分析方法

针对电压暂降源识别、电压暂降源定位可以采用不同的分析方法。本系统采用基于有效值方法的电压暂降源识别方法。识别过程如下<sup>[8]</sup>:

#### (1) 检测暂降点并计算暂降幅值

检测到电压暂降发生, 根据 IEC 标准推荐, 取

发生暂降相最小值作为暂降幅值。

#### (2) 判断暂降恢复特征

同(1)所述,检测电压幅值与额定值的90%相差小于0.5%的点,再判断此点后半个周期的点是否大于90%,若满足条件的点个数多于半个周期点的80%,则确定此点为暂降恢复点。能检测到暂降恢复点则判断暂降结束时是否有突变,有突变则为短路,否则是变压器投切或者重负荷启动。不能检测到暂降恢复点则比较暂降点跳过一个周期后的前两个周期的平均值与记录的最后两个周期的平均值的偏差,大于2%则为变压器投切或重负荷启动,否则为短路情况。

#### (3) 判断暂升发生

检测到电压暂降后,除暂降相外,其余相电压取暂降时间内平均值 $A$ ,若 $A>1$ ,则取电压最大值作为电压幅值;若 $A<1$ ,则取电压最小值为电压幅值。若 $A=1$ ,则取电压幅值为1。若 $A\geq 110\%$ ,则认为发生了电压暂升。

#### (4) 判断三相是否平衡

求出三相暂降幅值后,两两相减取绝对值得三个结果。只要出现一个结果大于3%,则为不平衡。判断三相幅值是否平衡,如果平衡则为三相短路或重负荷启动,不平衡则为不对称短路或变压器投切。

#### (5) 根据暂降幅值判断

三相中任一相幅值小于70%则为短路情况。

#### (6) 各特征综合分析

暂降源的最终确定应依据上述由不同特征所判断的结果进行综合分析得到。若(1)~(5)所判定的结果相一致,则可确定相应的暂降源;若(1)~(5)所判定的结果不完全一致,则按多数判定结果确定暂降源。

基于上述的电压暂降源识别方法,利用电能质量监测系统监测到的电压暂降事件的RMS有效值数据,就可以识别出三相短路、不对称短路、变压器投切、重负荷启动等多种不同的暂降源。

### 2.3 电压暂降实时分析

文献[9]针对电压暂降特征量实时检测的需要,在电网三相电压的对称分量法模型基础上,提出了改进的基于最小均方学习规则神经网络的特征量参数估计算法。文献[10]基于分形技术,提出了一种新型的电压暂降持续时间检测方法,并证明了较此方法具有较好的实时性和准确性。文献[11]提出一种改进的电压暂降检测方法,提高了检测精度而且还明显加快了检测速度提高了算法的实时性从而实现了电压暂降特征量的快速准确检测。但是上述文献描述的实时性主要体现在针对单个监测点而言。

然而随着敏感区域的增加,使得监测点的数量逐渐增加,同时暂降事件具有传播特性,呈现出分布式特征,当一个地点发生暂降时,一定区域电网范围内,同一时间段可能多个监测点均会捕捉到该事件。所以不能仅仅对一个监测点进行实时的计算分析,需要同时对多个监测点的指标数据计算。

多Agent系统(Multi Agent System, MAS)具有分布、并发问题求解的优点,其适合现实中复杂、庞大并呈现出分布式特性的系统。例如文献[12]描述了利用多Agent系统并行工作与协作机制,构建了广域保护多代理的体系结构和工作机制,可以有效实现大规模电网系统在不同运行工况下快速自适应保护。文献[13]利用多Agent的分散协调控制等优势,建立实现节能发电智能调度分布式系统,验证了该调度系统的更具有适应性、智能性和快速性。文献[14]应用Agent技术的结构原理构建了基于多Agent技术特点的集成保护系统结构,分析了集成保护系统通信及保护可靠性问题。所以多Agent系统同样适合解决现在电压暂降监测分析时效性差的问题。应用多Agent系统分布式体系架构,将数据计算等功能转交给分布在不同服务器上的不同Agent来完成,建立基于多Agent的电压暂降监测分析系统,快速计算发生电压暂降的特征值,从而可以实时地了解系统整体运行的质量状况,以及对电能质量可能造成的危害,对电能质量的治理提供科学的决策依据。

## 3 多 Agent 技术

### 3.1 Agent

Agent起源于分布式人工智能,是人工智能和分布式计算相结合的技术,可以把Agent看成一个具有自治能力的实体,能在特定环境下连续、自发地实现功能。Agent具有自主性、社会性、反应能力、自发行等基本特性。

### 3.2 多 Agent 系统

随着用户对于应用系统的功能要求越来越高,单个Agent系统有限的智能能力无法满足要求,需要通过适当的体系结构将多个Agent组织起来。多Agent系统(Multiple Agent System, MAS),通过计算机网络将一组Agent连接起来组成系统。Agent成员之间相互协作,共同完成一个任务,使求解能力超过了单个Agent。系统具有分布式、并发问题求解等优点。

MAS主要有两种结构形式:一种是纯分布式结构,另一种是联邦式结构。在纯分布式结构中,每个Agent都具有互相通信协商的能力,当某个Agent需要其他Agent为其提供服务时,它可以直接以固定

的格式向相关Agent发出服务请求。当Agent收到请求后,对需求进行解析,再与发出信息的Agent进行交互,提供服务,完成任务。联邦式结构中引入了基于中介子协调机制,此机制下Agent只与中介子进行通信,中介子负责对Agent的行为协调,消除了Agent间直接交互的困难。而从运行控制的角度来看,多Agent系统的体系结构可分为三种:集中式、分布式和混合式<sup>[15-16]</sup>。

#### 1) 集中式结构

集中式结构是将系统分为多个组,每个组由共同意愿、关系密切的Agent组成,每个组用一个管理Agent来集中式管理,负责这一组内的协同控制。可是此结构有一定局限性,当管理Agent出错,导致整个组崩溃。

#### 2) 分布式结构

分布式结构是系统中各个Agent不存在管理与被管理的关系,各Agent之间是平等的,无主次之分的,无论是Agent组内还是Agent组之间均为分布式结构。此结构的系统有很好的适应性以及灵活性,可是不利于系统的管理。

#### 3) 混合式结构

混合式结构相当于集中式结构和分布式结构组合而成的,集中了两者的优点,在系统内部包含了一个或者多个管理Agent,管理Agent对成员Agent进行任务协调,通信等进行管理,其他成员agent之间则是平等的,目前多Agent系统多采用此系统结构,同时JADE平台也是采用此结构。

### 3.3 多 Agent 仿真平台 JADE

JADE(Java Agent Development Framework)是一个完全由java语言开发的,开源的多Agent系统开发框架。JADE遵循FIPA规范,通过对一系列抽象接口以及工具,提供了基本的服务以及通信,使得开发人员忽略FIPA标准的实现,只去关注多Agent功能的实现。JADE平台基于Java语言开发,且提供了良好的API,使得平台具有很好的跨平台适应性。

#### 1) JADE 服务

JADE完全参照FIPA定义提供了若干服务,如图2所示。

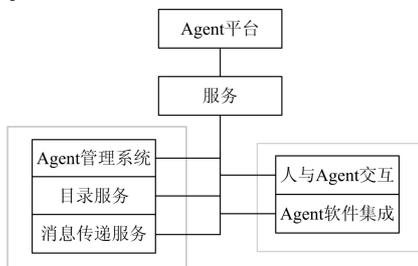


图2 平台提供的服务

Fig. 2 Services provided by the platform

标准服务有三种:①Agent管理系统(Agent Management System, AMS)。负责控制Agent的活动,监督管理对Agent平台的访问。每一个平台只有一个Agent管理系统,每个Agent在AMS中注册后,具有唯一有效的Agent标识(AID);②目录服务(Directory Facilitator, DF)。负责对平台上的Agent提供黄页服务;③消息传输系统(Agent Communication Channel, ACC),控制Agent之间的消息传输。无论是平台内的Agent还是不同平台之间的Agent都可以进行透明的通信,是跨平台的Agent消息传输机制。

#### 2) JADE 平台的体系结构

每个JADE平台都有若干个容器组成,容器负责对其内部的Agent进行管理,同时负责与系统中其他容器中的Agent之间的交互。一个平台仅有一个主容器,其他的容器在启动后都需要向主容器注册。一个容器可以有多个Agent。同时基于多Agent电压暂降监测分析系统选用JADE作为开发工具。

JADE平台的体系结构如图3所示。网络中存在两个JADE平台,即平台1和平台2。每个Agent在平台上被赋予唯一的名字,如果要通信的两个Agent知道对方的名字,那么它们就不需考虑是否在一个平台内或者同一个容器中,不需要考虑在网络中的实际位置,便可以进行透明的通信。

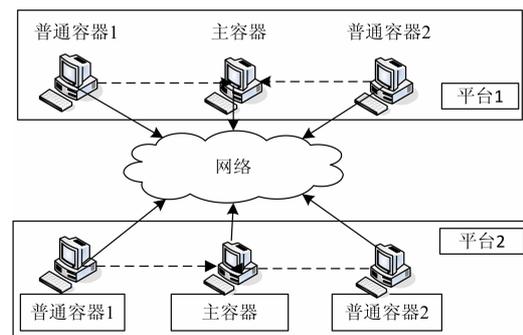


图3 JADE平台体系结构

Fig. 3 Architecture of JADE platform

## 4 基于多 Agent 技术电压暂降实时分析

### 4.1 体系结构设计

应用多Agent系统结构的思想,构建一个多Agent的电压暂降监测分析系统,系统体系结构如图4所示。

系统采用混合式的体系结构,设计了多种Agent。当电能质量监测终端捕捉到电压暂降后,数据采集Agent取得监测数据,通知智能管理Agent;智能管理Agent根据对应监测点的电压等级、电网区域等因素,分配相应的计算分析Agent,对数据进行

特征值的计算; 计算结果传递给显示Agent进行快速的显示。计算分析Agent同时将数据存入数据库, 供数据挖掘使用。一个监测点的数据最终由一个计算分析Agent计算, 如果同一时间多个监测点发生暂降, 则可以分配给多个计算分析Agent进行并行处理。

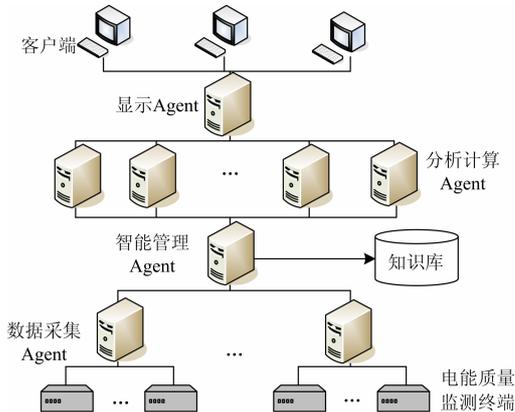


图4 多Agent的电压暂降监测分析系统体系结构

Fig. 4 Architecture of voltage sag monitoring and analysis of multi-agent system

### 4.2 Agent 设计

**数据采集Agent:** 与监测终端建立连接, 从监测终端取得数据判断是否发生暂降, 如果发生暂降, 将数据发送给智能管理Agent。

**智能管理Agent:** 同一时间内, 可能有多个监测终端发现暂降, 根据知识库中规则, 将暂降数据分配给相应的计算Agent进行计算。根据知识库规则进行判断, 如果和数据采集Agent失去联系, 则启动一个Agent来代替此数据采集Agent, 去监控相应的监测终端。同时如果数据太多, 则相应启动新的计算Agent。

**计算分析Agent:** 对数据进行特征值的计算, 对暂降源进行定位。计算完毕将数据发送给显示Agent, 同时可以存到数据库, 以方便对数据进行挖掘。

**显示Agent:** 根据计算分析Agent发送过来数据, 显示计算结果。

### 4.3 Agent 之间通信

JADE平台中, Agent之间的通信为异步, 发送方Agent利用AclMessage对象发送消息, 对象中包含接收方Agent唯一的名字以及发送的内容等信息。每个接受消息Agent都有一个mailbox接收消息, 消息到达, 该Agent自动调用CyclicBehaviour类循环行为中方法action()对消息作出响应。

数据采集Agent和智能管理Agent之间通信, 部

分实现代码如下所示。在数据采集Agent中加入下面的行为, 当发生暂降时, 通知智能管理Agent, 同时将数据传递过去。

```
public void action() {
    ACLMessage msg = new
    ACLMessage (ACLMessage. INFORM);
    msg.addReceiver(new
    AID("manageAgent@"+myAgent.getHap(),AID.ISGUID));
    msg.setLanguage("English");
    msg.setContent(this.dataAgent.getDataStr());
    dataAgent.send(msg);
}
```

在智能管理Agent中加入下面的行为, 接收到数据采集Agent发来信息, 传递给已经启动的计算分析Agent进行计算, 或者启动新的Agent来进行计算。

```
public void action() {
    ACLMessage msg = myAgent.receive();
    //根据知识库, 决定是分配给已经启动的计算分
    析Agent, 还是重新启动新的Agent
    //如果是重新启动新的Agent
    AgentController calculate;
    try {
        calculate
        =myAgent.getContainerController().createNewAgent
        ("calculate", "agents.CalculateAgent", null);
        calculate.start();
    } catch (StaleProxyException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}
```

## 5 结语

电压暂降监测数据分析对实时性具有较高的要求。电压暂降在电网中具有一定的传播特性, 当某点发生电压暂降扰动事件, 电能质量监测网络的多个监测点均会捕捉到该事件。电压暂降事件监测分析的实时性和分布式特征与多 Agent 系统技术特点高度耦合。本文提出基于现有的电能质量监测网络, 采用 JADE 多 Agent 系统仿真平台, 对多个监测点数据采集、分析计算的分布式并行计算处理的方法, 实现电压暂降的实时监测分析。

### 参考文献

[1] 肖湘宁. 电能质量分析与控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.  
 [2] 程浩忠, 吕干云, 周荔丹. 电能质量监测与分析[M].

- 北京: 科学出版社, 2012.
- [3] 王玲, 康健, 邹宏亮, 等. 实时电能质量监测系统的构建及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(2): 108-111.  
WANG Ling, KANG Jian, ZOU Hong-liang, et al. Construction and application of real-time power quality monitoring system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(2): 108-111.
- [4] 冯翔, 扈斐. 智能配电网电能质量实时在线监测识别系统设计[J]. 低压电器, 2012(3): 24-28.  
FENG Xiang, HU Fei. Design of real-time online detection and identification system of electrical energy quality in intelligent power distribution network[J]. Low Voltage Apparatus, 2012(3): 24-28.
- [5] 焦东升, 陆冬良, 应俊豪, 等. 动态电能质量实时监测系统的设计与实现[J]. 电网技术, 2011, 35(5): 110-114.  
JIAO Dong-sheng, LU Dong-liang, YING Jun-hao, et al. Design and implementation of dynamic power quality real-time monitoring system[J]. Power System Technology, 2011, 35(5): 110-114.
- [6] 郑贺伟, 胡鹏程. 基于虚拟仪器的暂态电能质量实时监测系统[J]. 电测与仪表, 2012, 47(530): 52-55.  
ZHENG He-wei, HU Peng-cheng. Real-time monitoring system for transient power quality based on virtual instrument[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2012, 47(530): 52-55.
- [7] 姜中华, 罗安, 赵伟, 等. 配电网电能质量实时监测分析与治理仿真[J]. 电网技术, 2010, 34(8): 18-24.  
JIANG Zhong-hua, LUO An, ZHAO Wei, et al. The power quality real-time monitoring analysis and control simulation[J]. Power System Technology, 2010, 34(8): 18-24.
- [8] 丁宁. 电压暂降源的识别和暂降检测算法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2010.  
DING Ning. Voltage sag disturbance recognition and the detection method of voltage sags[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2010.
- [9] 裴喜平, 郝晓弘, 陈伟, 等. 基于对称分量估计的电压暂降特征量实时检测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(11): 82-86, 92.  
PEI Xi-ping, HAO Xiao-hong, CHEN Wei, et al. A real-time detection method of the voltage sag characteristics based on symmetrical components estimation[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(11): 82-86, 92.
- [10] 李智勇, 吴为麟. 基于分形测度的电压暂降持续时间检测[J]. 电工技术学报, 2007, 22(9): 148-153.  
LI Zhi-yong, WU Wei-lin. Voltage sag duration detecting method based on fractal number measurement[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2007, 22(9): 148-153.
- [11] 张庆超, 肖玉龙. 一种改进的电压暂降检测方法[J]. 电工技术学报, 2006, 21(2): 123-126.  
ZHANG Qing-chao, XIAO Yu-long. An improved detection method of voltage sag[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2006, 21(2): 123-126.
- [12] 李振兴, 尹项根, 张哲, 等. 基于多 Agent 的广域保护系统体系研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(4): 71-75.  
LI Zhen-xing, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe, et al. Hierarchy of wide area protection system based on multi-agent[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(4): 71-75.
- [13] 黎静华, 韦化, 夏小琴. 智能电网下节能发电调度多 Agent 系统的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 96-103, 108.  
LI Jing-hua, WEI Hua, XIA Xiao-qin. Multi-agent model and method for units commitment in energy-saving generation dispatching[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 96-103, 108.
- [14] 和敬涵, 朱光磊, 薄志谦. 基于多 Agent 技术的电力系统集成保护[J]. 电工技术学报, 2007, 22(6): 141-147.  
HE Jing-han, ZHU Guang-lei, BO Zhi-qian. Integrated protection for power systems based on the multi-agent technology[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2007, 22(6): 141-147.
- [15] 史忠植. 高级人工智能[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [16] 赵文龙, 侯义斌. Agent 的概念模型及其应用技术[J]. 计算机工程与科学, 2000, 22(6): 77-78.  
ZHAO Wen-long, HOU Yi-bin. Agent conceptual model and its application technology[J]. Computer Engineering and Science, 2000, 22(6): 77-78.

收稿日期: 2013-07-01; 修回日期: 2013-12-06

作者简介:

齐林海(1964-), 男, 大学本科, 副教授, 当前研究课题是电能质量智能信息系统, 研究方向是数据库与信息处理、商务智能; E-mail: qilinhai@ncepu.edu.cn

程庆振(1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向为数据库与信息处理。