

一种新型 MAS 的配电网保护和控制方案

孙 辉, 刘前进

(华南理工大学, 广东 广州 510640)

摘要: 基于 MAS 技术设计了一个新的配电网保护和控制方案, 结合现代 IT 技术和自动化设备, 可以有效地进行配电网的故障探测, 隔离和重组。设计了智能代理的行为规则, 定义了代理的预备知识, 描述了代理的运行状态和重组算法, 论述了代理通信行为。通过一个案例仿真, 结果表明其具有异步协同工作的能力, 也验证了所提出代理方案的有效性和合理性。

关键词: 多代理系统; 配电网保护; 多代理共同体; 代理通信; 故障隔离

A new distribution protection and control program based on MAS

SUN Hui, LIU Qian-jin

(South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: A new power distribution protection and control plan is designed based on MAS technology. This plan, which unites modern IT technology and the automatic equipment, may carry on effectively fault location, the isolation and the reorganization of power distribution network. This paper designs intelligent agent rules of conduct, defines the agent's prior knowledge, describes the agents running status and reorganization algorithm, and discusses the behavior of agent communication. A simulation case verifies that the program has the ability to work together asynchronously. Also the efficiency and rationality of the proposed agents are demonstrated.

Key words: multiagent system; power distribution protection; multiagent communities; agent communication; fault isolation

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)16-0024-06

0 引言

配电系统的保护和重组是人工智能技术的一个重要应用方向, 一些研究人员已经将该领域专家系统的广域知识和经验与专门进行集中控制和保护的计算机系统结合起来。一些基于规则的专家系统已经被提出来了, 如逻辑规则(用于开关动作, 故障隔离和馈线间的负荷转移^[1]), 和启发式规则(用于配电系统故障定位^[2]), 它所提供的图形用户接口(GUIs)可以作为重组帮助系统, 帮助操作数据采集和监控系统(SCADA)的人员做出决策^[3]。有些专家系统已经应用于常规的电力系统重组^[4-5]。专家系统通常作为一个辅助的作用, 它需要电网拓扑结构信息、网络元件属性信息和远程测量的电气量信息。因此应该架设用于保护和控制的专用通信通道, 包括光纤通信和电力线通信, 还有最近兴起的全球移动通信(GSM)技术^[6]。

一些学者已经利用分布式人工智能(DAI)和多代理系统(MAS)来研究配电网的行为和智能,

并且在这方面做了许多努力^[7-8]。它也适合配电系统的故障处理, 复杂问题的分解等^[9]。用一个分布式的方式, 处理复杂的配电网管理问题是 Multiagent 系统的一个重要应用领域, 也就是说分布式的解决问题和解决分布式的问题^[10]。

基于多代理技术的配电网管理和传统的中央集中控制的目标是相同的: 根据整个配电网的可靠性, 使供电不足的持续时间和用户供电中断的持续时间最小化。

本文设计的多代理方案, 目的在于提高网络的自我管理能力和故障定位, 隔离, 电网正常运行的部分进行重组所需要的时间最小。同时它的自适应行为将能应用于许多不同的网络拓扑结构中。

1 当前工作的应用领域

本文的设计方案可以应用于电网的快速故障定位, 隔离和重组过程, 其研究的配电网的典型结构如图 1 所示。

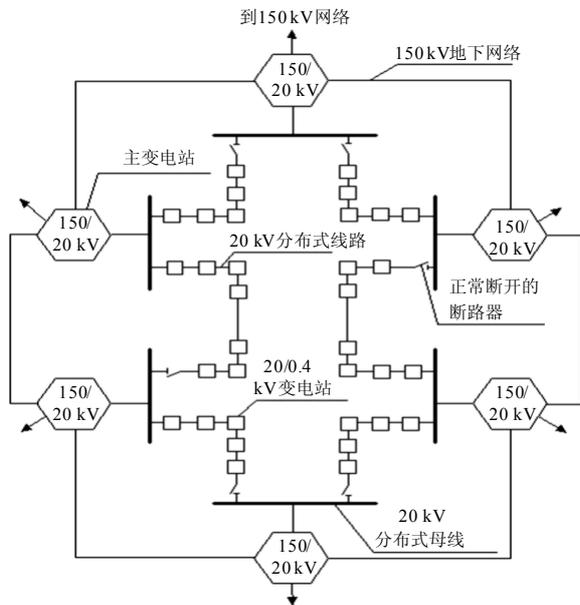


图 1 一个典型的配电网拓扑结构

Fig.1 Topological layout of a distribution network

配电网由两部分组成：地下线路层和架空中压线路层。统计数据表明地下线路层发生的故障通常是永久性的，而架空线路层通常是暂时的。因此，保护系统应该根据不同类型的故障（永久的和暂时的），采取不同的保护措施。一个典型的地下线路层星型中压馈线网络如图 2 所示，系统中有保护设备和开关设备。

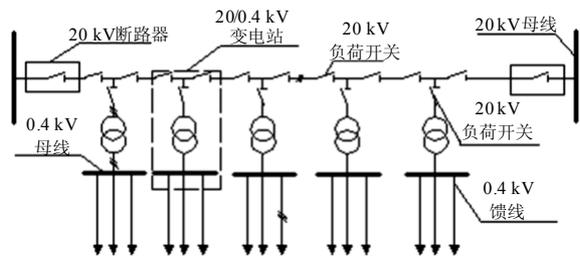


图 2 地下层星型中压馈线网络

Fig.2 Underground MV line feeder network

控制和子控制中心位于 150/20 kV 变电站，线电流，线电压数据可以从 SCADA 中获得。通过专用的电力通信网络，20 kV 断路器的状态被本地的和（或）远程的 Agent 控制。

通过下列的假设来研究地下线路层配电网。

- 1) 所有的 20 kV 负荷开关位于 20/0.4 kV 变电站，配置有机械化的控制系统，由开关继电器控制。
- 2) 用于数据采集和运行调度的智能电子设备 (IEDs) 配置在变电站，它用于记录变电站的电气参数，并且进行本地故障探测。

3) 电感（或电容）与路由器结合起来，从而能进行电力线通信（PLC）。可以实现相-相或者相-地的两种通信方案。

4) 系统中的微机由不间断电源供电（UPS），安装在 20/0.4 kV 变电站，分布式 MAS 容纳在这些微机中。

2 多代理系统（MAS）的结构

本文设计的多代理系统（MAS）由两个层次构成，第一层次是软件代理（代理共同体）的实现，软件代理位于重要的网络节点（如 20/0.4 kV 变电站）。第二层次是相互协作的软件代理所收集的变电站环境的信息。从而使故障隔离和电网重组问题分散在这些代理共同体中。在变电站环境内，代理共同体的成员具有一定的知识和行为。在下面的部分中，代理共同体就是指多代理共同体（MASC），本文所设计的代理共同体由 3 个软件代理构成，如图 3 所示。

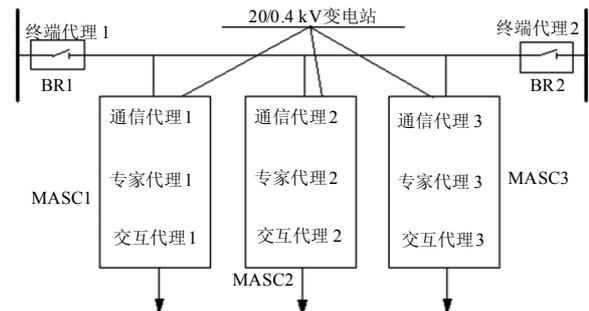


图 3 代理共同体 (MASC) 的内部结构

Fig.3 Internal structure of MASC

1) 专家代理 (Expert Agent)：它是一个软件代理，它能处理紧急情况，它具有适当的学习知识的能力，感知环境变化的能力和推理的能力，具有明确的目标。这种代理结合数据，分析每一种情况，决定代理共同体的动作。

2) 交互代理 (Interaction Agent)：它是一种软件实体，负责提供专家代理与物理环境的连接，它具有一定的知识，可以操作可编程控制器和采取措施影响系统的同步运行。

3) 通信代理 (Communication Agent)：这种代理负责代理间的通信问题，它初始化相邻节点之间的通信和变电站与终端代理之间的通信。

除了这三种代理外，还有一些终端代理 (Terminal Agent)，分散在线路终端（如 150/20 kV 变电站），它们具有明确的任务。

- 1) 根据从通信代理接受到的信息，操作断路器

(CBs);

2) 通知控制人员隔离故障的位置;

3) 提供丰富的信息给代理共同体, 包括断路器的状态和负载状况。

3 智能代理的行为

这三种代理方案必须使代理具有一定数量的行为, 这些行为在 20/0.4 kV 配电变电站执行, 同时不会引起任何运行错误 (如通信, 开关设备处理和决策)。还应该考虑代理共同体的一致性和多功能性, 不同的代理执行不同的任务, 不会相互冲突。共同体代理包含基于规则的专家系统和代理软件框架。专家系统用逻辑语言 (LOG) 编程 (PRO) 实现, PROLOG 允许用最小的语义步骤来描述预备知识。随着容器的发展, PROLOG 逻辑基础被压缩在代理开发框架 (JADE) 内, JADE 遵守 FIPA 标准。

3.1 代理的预备知识

配电网中问题的分布性要求 MASC 具有关于本地环境的预备知识, 预备知识的格式以下面列表的形式表达和存储:

List_1: [switch (X), load (Y), state (Z), fault_detect (W), sub (A), power (B), fault (C), breaker (D), b_load (E), remain (F), status (G)] (1)

列表的最大数量由负载开关的数量决定, 这些开关由 MASC 控制, 列表的元素是 20/0.4 kV 变电站环境的内在联系的对象, 它们由代理调用。列表元素的描述如下:

switch (X): 该元素指负荷开关, X 是负荷开关的标识符, X 的可能值为 1, 2, 3, 4;

load (Y): 该元素指负荷开关的实际容量 (kVA)。 Y 是具有标识符 X 的开关容量, 它是一个整数;

state (Z): 该元素指负荷开关的状态, Z 是带有标识符 X 的开关状态 (0/1, on/off), 它是一个布尔值;

fault_detect (W): 该元素指开关 X 的故障探测器的状态, W 是状态值 (0/1, yse/no), W 是一个布尔值;

sub (A): 该元素指与 MASC 相邻的 20/0.4 kV 变电站。 A 是从开关 X 一侧观看到的变电站的字符串标识符, 如果 A 是一个本地变电站的标识符, 则 switch (X) 是本地变压器的负载开关;

power (B): 该元素指 20/0.4 kV 变电站的负荷容量 (kVA), B 是带有标识符 A 的变电站负荷。 B 是一个整数;

fault (C): 该元素指 20/0.4 kV 变电站故障探测的状态, C 是变电站 A 的故障探测的状态值 (1/0, yes/no), C 是一个布尔值;

breaker (D): 该元素指正在运行的断路器, D 是运行断路器的标识符;

b_load (E): 该元素指正在运行断路器的负载 (kVA), E 是具有标识符 D 的断路器负载大小, E 是一个整数;

remain (F): 该元素指运行断路器的备用负载 (kVA), F 是具有标识符 D 的断路器的备用负载大小, F 是一个整数;

status (G): 该元素指正在运行断路器的状态, G 是具有标识符 D 的断路器的状态值 (1/0, on/off), G 是一个布尔值。

MASC 将读取 IEDs 的数据和接收邻近 MASC 的消息, 更新列表元素的值。例如, 消息的发送端是 SUB (A), 接收端推断出这个消息是来自于开关 X 的一侧, 接收端将利用这个信息进行进一步的推理。

3.2 运行状态

MASC 将呈现出三种运行状态: 1) 稳定状态; 2) 故障隔离状态; 3) 重组状态。

MASC 根据外部的环境条件改变它的运行状态。在稳定状态中, 专家代理控制共同体的运行, 同时通信代理和交互代理服从专家代理的命令, 只要故障被隔离, 专家代理将开始进入故障隔离状态, 它把控制命令传达给通信代理和交互代理, 他们相互交互并开始进入重组状态, 完成电网的重组。在代理的内部结构中, 代理所呈现出来的不同状态中伴随着不同的行为类别, 根据代理所处环境的信息, 这些行为将进入休眠或激活模式。

1) 稳定状态

在稳定状态中, 终端代理发送消息给邻近的 MASC, 包括断路器的状态信息, 运行负载和备用负载能力。根据如下的规则, 信息从一个变电站传播到另一个变电站。

规则 1: MASC 不会发送消息给位于开关断开一侧的变电站的 MASC。

规则 2: MASC 不再发送消息给其他的 MASC, 如果该消息来自于位于开关断开一侧的 MASC。

这两条规则避免了消息的循环, 消息传播的实现方式允许 MASC 获得电源的信息, 该 MASC 所处的变电站使电源相互连接, 图 4 描述了典型地下层配电网的一部分, 符号 “BR1, BR2” 意思是: MASC 可以由两处电源供电, 同时斜体符号代表正在运行的电源, (例如, 上面所说的 MASC 意识到

断路器 1 和断路器 2 负载状况, 同时正在给这个 MASC 的变电站供电的电源是断路器 1), 附加在变电站的标签 (SUB_F, SUB_G) 是变电站的标识符。

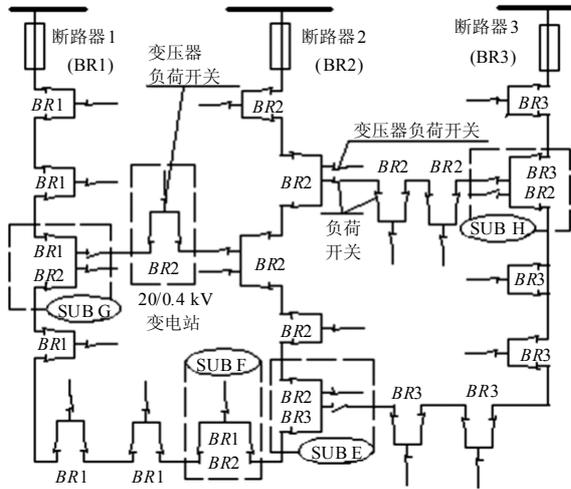


图 4 SUB_E, SUB_F, SUB_G 和 SUB_H 的 MASC 根据规则 1 和 2 收集断路器的信息

Fig.4 MASCs of SUB_E, SUB_F, SUB_G, and SUB_H gathered information for breakers, according to rules 1 and 2

每个 MASC 监视三相电压, 三相电流和本地负载断路器的电源。根据下面实际事件的顺序, 可以实现故障探测, 定位和隔离的过程: 故障开始, 电流上升/电压下降, 断路器感知, 断路器跳闸, 电压损失, 电流损失。这些事件的量化是和时间有关系, 是不确定性的。断路器对时间的反应依赖于故障的类型和离故障点的距离等。

在稳定状态只有专家代理负责更新列表 1 的预备知识。

2) 故障隔离状态

只要断路器跳闸清除了故障, MASC 将改变稳定状态进入故障隔离状态, 相邻变电站的 MASC 根据下面的约束, 相互交换信息, 包括他们相应的故障探测状况。

约束 1: MASC 不会发送实际的探测消息[如 fault (1)]给位于断路器断开一侧的变电站的 MASC。

然后各个 MASC 进行比较: 它自身变电站故障探测的状况和相邻变电站故障探测的状况; 如果在 MASC 之间, 故障探测的状况会从 fault (1) 改变到 fault (0), 与故障相邻的 MASC, (见图 5 SUB_B 和 SUB_C 的 MASC) 将会意识到在它们之间发生了一个故障。MASC 通过断开位于故障一侧的负荷开关 (见图 5 SUB_B 和 SUB_C 的 MASC 分别断开断路器 S3 和 S4) 进行故障隔离, 与稳定状

态类似, 在故障隔离状态只有专家代理负责更新列表 1 的预备知识。

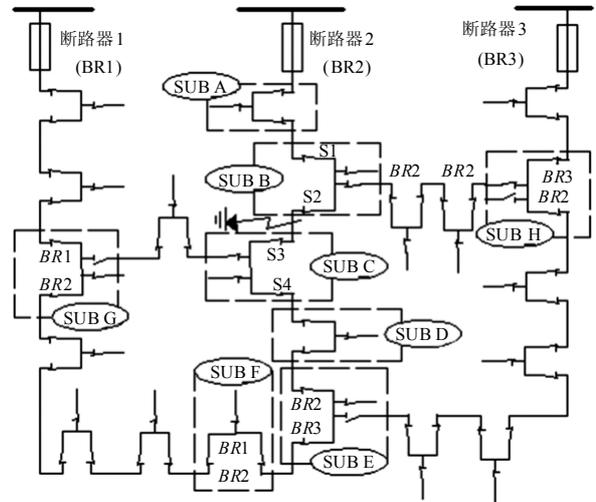


图 5 电网进行故障探测并且 SUB_B 和 SUB_C 的 MASC 分别断开断路器 S3 和 S4 进行故障隔离

Fig.5 Previous part of the grid with a fault detected and isolated between load switches S3 and S4

3) 重组状态

隔离故障的 MASC 将会首先启动重组程序。根据预备知识, 各个 MASC 能推导出故障前运行的断路器, 位于故障前运行断路器一侧的 MASC (见图 5 SUB_B 的 MASC) 将发送消息给位于开关闭合一侧的 MASC (见图 5 SUB_A 的 MASC), 该消息包含下面的内容。

Message1: “fault_detect (1), breaker (D), status (1)”

这里的 D 是故障前运行断路器的标识符 (见图 4 断路器 2)。

Message1 将传播到达相应的终端代理, 元素 status (1) 是一条寻找终端代理命令, 目的是闭合断路器并且恢复 SUB_A 和 SUB_B 的电力。沿着消息的传播, 相应的 MASC 将进入的重组状态; 只要他们探测到电压恢复到正常水平, 他们就退出重组状态。

另一方面, 隔离故障的 MASC (见图 5, SUB_C 的 MASC) 进行下面的重组程序:

SUB_C 的 MASC 动态的创建一个新的列表, 称为重组请求列表, 它的格式如下:

Restoration RequestList: [breaker (D, F), SUB_req (SUB_C, Num, P, ST, S, N)...] (2)

这里元素 breaker () 的 D 是跳闸清除故障断路器 (见图 5 D 是 BR2) 的标识符, F 是具有标识符

D 的断路器的备用负载。如果 F 设置成 0 给 BR2, 则表明相应的断路器退出重组程序。

元素 SUB_req() 动态的添加到列表, 提交给变电站, 它具有下列属性:

NUM 是一个自然数, 代表动态的故障的变电站位置, (NUM=1 指的是 SUB_C), P 是变电站的故障前负荷, ST 是开关 S2 的状态 (图 4 $ST=1$), S 是开关 S3 的故障前的负载, N 是变电站开关的数量 (图 5 SUB_C 的 $N=4$)。

SUB_C 的 MASC 发送列表 (2) 到 SUB_D, SUB_D 的 MASC 马上就进入重组状态, 作为对接接收列表的反应, 并且添加一个新的元素 SUB_req(), 连同它自己的属性一起添加到列表 (2) 上, 发送这个新的列表到 SUB_E。MASC 通过添加一个数值到列表的发送端的元素 SUB_req() 的 NUM 属性中, 从而推理故障位置。

MASC 根据下面的规则传播列表 (2):

规则 3: MASC 不会发送消息给位于开关断开一侧的变电站的 MASC。

规则 4: MASC 不再发送消息给其他的 MASC, 该消息来自于位于开关断开一侧的变电站 MASC。

通常, 列表的传播在某一个 MASC 结束, 该 MASC 可以由两处以上电源供电 (如图 5 中 SUB_E, SUB_F, SUB_G, and SUB_H 的 MASC)。

3.3 重组算法

位于末端连接点的变电站 (SUB_E) 的 MASC 决定重组策略, 该策略关系到一些开关动作, 他们包含在上述列表的 SUB_req() 元素中, 列表 (2) 的变电站根据下面的规则执行这些动作:

规则 5: MASC 将决定包含在列表 (2) 中的电力不足的变电站组, 从 NUM=1 的变电站开始恢复电力, 持续的进行到变电站安全运行的极限和加上备用容量为止。

这个策略以下面命令列表的格式表示:

Commad List: [breaker(D, F), sub_req(SUB_C, 1, $p, 1, s, n$), (SUB_D, 2, $p, 0, s, n$)] (3)

它实际上是重组列表 (2), 包含变电站的开关动作, 该开关动作相应于 sub_req() 元素。通过改变元素 sub_req() 中 ST 的值 0/1 (off/on), 开关将具有不同的动作。这个命令列表也包含元素 breaker (D, F),

相应于供电电源, F 是断路器备用能力。如果一个变电站具有的 NUM 值小于本地变电站的 NUM 值, 则命令列表将发送到该变电站。在一个列表中各个 MASC 根据它自己的预备知识和决策, 将开关的动作添加到命令列表中。开关动作涉及到变电站,

如果该变电站具有的 NUM 值大于或等于本地的 NUM 值, 则 MASC 实现规则 5; 如果该变电站具有的 NUM 值小于本地 NUM 值, 则 MASC 会打开本地负荷开关, 并且实现规则 5。

3.4 代理通信

Agent 执行过程中会发生内部和外部两种通信, 通信程序存在于共同体的 Agent 之中。在内部通信中, 程序要遵守 FIPA 标准, 同时也具备独立控制线程的交互能力。外部通信发生在相邻的变电站之间和变电站与控制中心之间, 基于代理通信语言 (ALC), 代理在 JADE 平台上相互交换信息。

中压线路作为物理的通信通道, 对于目前研究成果来看, 在理论上, CENELEC A 频带 (3~95 kHz) 能够提供足够的数据传输速率。将电力线路作为通信通道能够节约资源, 提高系统的分布自治能力。配电网将依赖于它自己的资源, 并且可以避免依赖于额外的通信通道和网络。本文主要讨论的是建立在相邻的 20/0.4 kV 配电变电站之间通信, 在这里中压电缆的长度不超过 1 km, 因此通信信号传播的距离短, 更重要的是, 沿着电缆导体信号衰减越来越低。

另一方面, 通信频率应该调制到比较低的水平, 并且数据交换的数量也应该保持在较低的水平, 这样可以实现比较好的信号传播。本文也考虑了在两个连续的变电站之间通信容错处理。

在稳定状态, 数据的交换关系到大量消息的传播, 包含正在运行断路器的信息, 通信问题将会引起消息无法传送, 发送端 MASC 将向正在供应电源的方向报告这个情况。

在故障隔离状态, 数据交换关系到相邻变电站的故障探测器的状态, 电缆短路所引起的通信问题使消息无法传送, 但是发生故障两侧的 MASC 将会尽力相互发送信息, 包含故障探测器的状态, 它们将会推理出在他们之间发生的故障位置, 并能成功地进行故障隔离。

在故障重组状态, 数据交换关系到动态列表的传播, 通信问题也会引起消息无法发送: 如果通信问题发生在重组请求列表的传播期间, 发送端 MASC 将断开本地负荷开关, 将这个列表作为一个命令列表返回, 同时包含本地开关动作消息; 如果通信问题发生在命令列表的传播期间, 则发送端 MASC 将根据列表的内容而采取相应的动作: 如果列表包含的开关动作领先发送端位置的开关动作, 则发送端将返回命令列表, 列表中不包含任何其他动作; 如果列表包含的开关动作落后发送端位置的开关动作, 则发送端将打开本地负荷开关, 更新

这个命令列表, 并且将该列表返回, 作为开关动作的确认消息。

4 案例仿真

为了检验本文设计的 MAS 系统的性能, 做了一个案例仿真, 主要是评估 MASCs 异步协同工作的能力。仿真的拓扑结构如图 5 所示。最开始认为是 BR1 给整条线路供电, 假设一个故障发生在 MASC1 和 MASC2 之间, BR2 作为整条线路的后备电源, BR2 认为有足够的给整条线路供电的备用容量, 仿真的拓扑结构如图 6 所示。

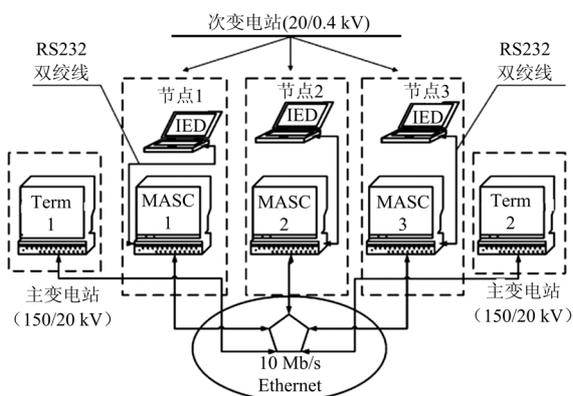


图 6 仿真拓扑结构

Fig.6 Simulation topology structure

每台微机安装有 JADE 软件平台, 并且该软件包含有三代理共同体, 两台终端微机相应与 150/20 kV 主变电站, 所有这些微机通过同一个网络连接。运行数据由输入数据文件提供, 该文件遵循 COMTRADE 标准。电子智能设备 IED 安装在手提电脑里面, 通过 RS-232 双绞线与装有 MASC 的微机相连。

仿真的部分结果如下面所示, 每条消息有时间标签, 根据时间的先后顺序显示:

```
10:05:15 Term1: 发消息给 Com1
BR1:1 remain: 1300
10:05:16 Com1: 接受消息从 Term1
BR1:1 remain: 1300
10:05:16 Com1: 发消息给 Expert1
BR1:1 remain: 1300
10:05:16 Com1: 发消息给 Com2
BR1:1 remain: 1300
10:05:16 Expert1: 接受信息从 Com1
BR1:1 remain: 1300
10:05:17 Expert1: 查询数据从 Inter1
10:05:17 Inter1: 发送数据给 Expert1
```

```
... ..
10:09:23 Com1: 接受信息从 Expert1
fault:1
10:09:23 Expert2: 发送消息给 Com2
fault:0
... ..
10:09:32 Com1: 发消息给 Term1
BR1:1
10:09:32 Term1: 接受消息从 Com1
BR1: 1
10:09:32 Com2: 发消息给 Com3
BR2:1
10:09:34 Term2: 接受消息从 Com3:
BR2:1.
```

每条信息的第一行是发生在特定时刻的动作, 第二行是代理之间交换的信息内容。这个结果表明这些代理表现出了良好的系统的同步行为。同时 MASC1 和 MASC2 在不用的时刻点能识别故障情况, 并进行了故障隔离和网络重组, 并且没有任何运行冲突和异常行为。

5 结语

本文提出一个新的 MAS 结构, 它可以实现配电网的自治。它具有自愈能力, 电网重组将会需要更短的时间。并且从 MAS 技术方面来说, 本文描述了设计自适应代理的概念, 它是面向应用的, 该系统不具有学习能力, 因为专家系统所提供的经验知识能够使代理定位于发生的故障, 重组电网非故障的区域。但是它具有自适应行为, 从而当网络拓扑改变发生时, 即使代理共同体的动作不是同步的, 它也能维持网络稳定性。

参考文献

- [1] Liu C C, Venkata S S. An expert system operational aid for restoration and loss reduction of distribution systems[J]. IEEE Trans on Power Syst, 1998, 3 (2): 619-626.
- [2] Hsu Y Y, Lu F C, Chien Y, et al. An expert system for locating distribution system faults[J]. IEEE Trans on Power, 1991, 6 (1): 366-372.
- [3] Lee H J, Park Y M. A restoration aid expert system for distribution substations[J]. IEEE Trans on Power Del, 1996, 11 (4): 1765-1770.
- [4] Kirschen D S, Volkman T L. Guiding a power system restoration with an expert system[J]. IEEE Trans on Power Syst, 1991, 6 (2): 558-566.

(下转第 34 页 continued on page 34)

能量, 构成新的选相原理。仿真结果表明: 在不同过渡电阻、不同故障位置 and 不同故障初始角都能正确地选相, 具有很好的可靠性。

参考文献

- [1] 张保会. 加强继电保护与紧急控制系统的研究提高互联电网安全防御能力[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24 (7): 1-6.
ZHANG Bao-hui. Strengthen the protection relay and urgency control system to improve the capability of security in the interconnected power network[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24 (7): 1-6.
- [2] 薄志谦. 新一代电力系统继电保护——暂态保护[J]. 电网技术, 1996, 20 (3): 34-36.
BO Zhi-qian. Transient based protection—a new generation of power system protection[J]. Power System Technology, 1996, 20 (3): 34-36.
- [3] 哈恒旭, 张保会, 吕志来. 利用暂态电流的输电线路单端量保护新原理探讨[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20 (11): 56-61.
HA Heng-xu, ZHANG Bao-hui, Lü Zhi-lai. A novel principle of non-unit protection based on transient components for EHV transmission lines[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20 (11): 56-61.
- [4] 何正友, 王晓茹, 钱清泉. 利用小波分析实现 EHV 输电线路单端量暂态保护的研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21 (10): 10-14.
HE Zheng-you, WANG Xiao-ru, QIAN Qing-quan. A study of EHV transmission lines non-unit transient protection based on wavelet analysis[J]. Proceedings of

the CSEE, 2001, 21 (10): 10-14.

- [5] 哈恒旭, 张保会, 吕志来. 基于暂态量超高压输电线路无通信保护的研究[J]. 电力自动化设备, 2000, 20 (4): 4-7.
HA Heng-xu, ZHANG Bao-hui, Lü Zhi-lai. Super pressure power transmission line non-communication protection based on transient component[J]. Electric Power Automation Equipment, 2000, 20 (4): 4-7.
- [6] 彭玉华. 小波变换与工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [7] 唐常青, 吕宏伯. 数学形态学方法及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [8] 崔屹. 图像处理与分析—数学形态学方法及应用[M]. 科学出版社, 2000.
- [9] 李婷, 杨明玉. 数学形态学在电力系统暂态信号分析的应用研究[C]. //中国高等教育电力系统及其自动化专业第二十一届学术年会论文集. 2005: 1822-1826.
- [10] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996.

收稿日期: 2009-09-15

作者简介:

卜春霞 (1977-), 女, 工程师, 从事继电保护、数字化变电站方面的技术研究工作; E-mail: Bucxxjzdh@163.com
张义含 (1977-), 男, 硕士, 工程师, 从事继电保护、水利电力自动化以及电力系统监控方面的技术研究工作;
姜自强 (1979-), 男, 工程师, 从事继电保护、变电站自动化方面的技术工作。

(上接第 29 页 continued from page 29)

- [5] Adibi M M. New approaches in power system restoration[J]. IEEE Trans on Power Syst, 1992, 7 (4): 1428-1434.
- [6] Nordman M, Lehtonen M, Takala J, et al. TETRA radio in monitoring and control of secondary substations[J]. Proc Inst Elect Eng, 2001, 9 (12): 283-286.
- [7] 童晓阳, 王晓茹, 汤俊. 电网广域后备保护代理的结构和工作机制研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (13): 91-98.
TONG Xiao-yang, WANG Xiao-ru, TANG Jun. Study on the structure and working mechanisms of wide-area backup protection agents for power networks[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28 (13): 91-98.
- [8] 朱永利, 宋少群. 基于广域网和多智能体的自适应协调保护系统的研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26 (16): 15-20.
ZHU Yong-li, SONG Shao-qun. Study on multi-agent

and WAN based adaptive coordinated protection system[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26 (16): 15-20.

- [9] Nordman M, Lehtonen M. An agent concept for managing electrical distribution networks[J]. IEEE Trans Power Del, 2005, 20 (2): 696-703.
- [10] Ferber J. Multi-agent systems—an introduction to distributed artificial intelligence[M]. MA: Addison-Wesley, 1999: 30-35.

收稿日期: 2009-05-14; 修回日期: 2010-03-05

作者简介:

孙辉 (1981-), 男, 硕士生, 研究方向为电力系统保护, 控制与自动化; E-mail: sho2007@163.com
刘前进 (1967-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为继电保护软、硬件的开发, 电力系统图模一体化数字仿真系统。