

基于多 Agent 的配电网故障处理方案的研究

刘淑萍, 韩正庆, 高仕斌

(西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 在简要介绍 Agent 概念、特性和多 Agent 系统体系结构的基础上, 提出了一种基于 MAS 的配电网故障处理方案。阐述了该系统体系结构, 各个 Agent 的功能及其协调方式。分析表明此控制方式能更有效地实现配电网故障的隔离和电压的恢复。

关键词: 配电网故障; 多 Agent 系统; 协调控制

中图分类号: TM711 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)22-0039-04

0 引言

中压配电网的故障处理一直是个难以解决的技术问题。城市变电所供电距离一般只有 3~5 km, 再由分段开关分为 3~5 段, 在这样短的线路上采用传统的过流、差动、距离等继电保护来隔离故障是不可能的, 更谈不上非故障段的恢复供电。所以对于配电网故障处理专家学者提出了一系列方法。限于篇幅, 本文只介绍如下几种主要的方式。

20 世纪 80 年代日本和美国研制开发了“重合器模式”的第一代中压配电网自动故障处理系统^[1]。它依赖于重合到故障上以识别故障段, 之后加以隔离和恢复供电。在缩小故障停电范围上有一定的进步, 但需要变电所出线开关两次断开短路电流, 且存在恢复供电不彻底, 故障信息不能及时上报配调中心等问題。

进入 20 世纪 90 年代, 随着通信和事故处理能力的增强, 配电网自动化出现了第二代和第三代^[1]。其故障处理模式是: 将所有开关故障信息由 FIU 上送上级站, 在上级站依据各开关的信息判定故障点所在段之后, 下发命令至相应的 FIU, 由 FIU 跳开故障段两侧开关、闭合出线开关和联络开关, 实现故障隔离和非故障段恢复供电, 一般称为故障集中处理模式。这种方式一则对通信网依赖性大, 故障信息上传和动作命令的下发都经过通信网; 二则依赖于上级站机, 要求通信网和上级站绝对可靠, 一旦出错就可能导致故障扩大; 三则故障处理时间长, 要几十秒。

多 Agent 系统(MAS)是分布式智能(DAI)的一个分支, 目前在软件及控制领域中得到广泛应用^[2~4]。DAI 注重各个发布的智能系统的协调行动, 能使在逻辑上和物理上分散的智能系统并行、协调地实现

问题的求解。随着 MAS 技术的发展, 近年来科研人员也尝试将其应用于电力系统中, 并取得了一定的成果^[7~9]。

1 多 Agent 技术简介

1.1 Agent 的概念和特性

MAS 中的 Agent 是对过程运行中的决策或控制任务进行抽象而得到的一种具有主动行为能力的实体。它利用数学计算或规则推理完成特定的操作任务, 并通过消息机制与过程对象及其它 Agent 交互以完成信息传递与协调。根据配电网故障处理的需要, Agent 的主要特性包括:

1) 自治性(autonomy)。Agent 的运行不直接由人或其他软件控制, 而是自己对自己的行为和状态进行控制。对于本文涉及的配电系统来说, 各个执行 Agent 和协调 Agent 的动作就具有这种自治性, 各个 Agent 对自己的动作进行控制。

2) 社会能力(social ability)。Agent 之间通过某种 Agent 通信语言进行信息交互。本文中的执行 Agent 之间能够互相通信并能与协调 Agent 互相通信来获得自己需要的信息。

3) 反应能力(reactivity)。Agent 感知所处的环境, 并通过行为改变环境。本文的执行 Agent 首先获得各个 FIU 的电流值, 然后根据判据判断是否动作, 如果发生故障, 符合动作条件的 Agent 就会作出响应来隔离故障。

1.2 MAS 及其组织结构

MAS 是指由多个 Agent 组成的一个较为松散的多 Agent 联合, 这些 Agent 之间相互协同、相互服务, 共同完成一个任务。MAS 主要研究整个系统活动中各 Agent 之间的相互作用如何产生、每个 Agent 的推理和行为决策如何考虑系统中其它 Agent 的存

在、Agent 的目标和行为之间可能的冲突检测和协调以及任务和资源的划分、分配和管理等。

MAS 的组织结构为每个 Agent 提供了一个交互的框架及多 Agent 群体求解问题的高层观点和相关信息,以便合理地分配任务并使这些 Agent 能更好地工作。

2 基于 MAS 的配电网故障处理系统设计

2.1 配电网故障处理的判据^[5]

中压配电网一般都是闭环结构、开环运行。一条出线经出线开关 DL₁ 馈出后,经分段开关 FD₁、FD₂、...、FD_n 分段,到联络开关 LK;联络开关 LK 再经若干分段开关,经出线开关 DL₂ 到另一段母线,谓之闭环结构;联络开关 LK 断开运行,谓之开环运行。如图 1 所示。

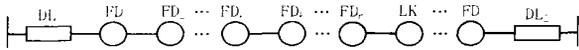


图 1 中压配电网的结构

Fig. 1 Structure of mid-voltage distribution system

记 DL₁ 与 FD₁ 之间的线路为第 1 段,FD_{k-1} 与 FD_k 之间的线为第 k 段,FD_n 与 LK 之间的线为第 (n+1) 段;流过 FD_k 的电流为 I_k,流过 DL₁ 的电流为 I₀,流过 LK 的电流 I_{n+1},定理:中压配电网第 m 段短路的充分必要条件是

$$|I_{m-1} - I_m| > I_e \quad |I_{k-1} - I_k| < I_e \quad |I_{j-1} - I_j| < I_e \quad (1)$$

式中: m ∈ [2, n], k ∈ [1, m - 1], j ∈ [m + 1, n + 1]; I_e 为最大负荷电流值。

为了避免整定困难,在式(1)中采用了差的绝对值。

2.2 系统整体结构

系统整体结构为图 2 所示。将 FTU 作为执行 Agent,其可以是 FTU 装置也可以是嵌于配电网自动化系统中的 FTU 软件;同时在调度或监控中心的管理系统内设置协调 Agent。整个系统由多个执行 Agent 和协调 Agent 组成,各个 Agent 形成一个有序群体,它们一方面根据自身的环境信息自主地完成特定的任务,另一方面执行 Agent 可在协调 Agent 的协调下进行工作,共同完成目标。系统每个 Agent 不仅能与变电所通信,其间也可以通信。各执行 Agent 根据自身检测到和其他 Agent 传来的电流,按式(1)进行判断,若满足式(1),表明故障发生在第 m 段,通过检测线路电流是否存在来判断断路器 DL1 是否跳闸,若已跳闸,

使 FTU_{m-1} 和 FTU_m 断开并闭锁 FD_{m-1} 和 FD_m,故障被隔离,同时向协调 Agent 发送合闸命令,协调 Agent 收到执行 Agent (m) 和 Agent (m - 1) 的命令后恢复其他地区的供电。

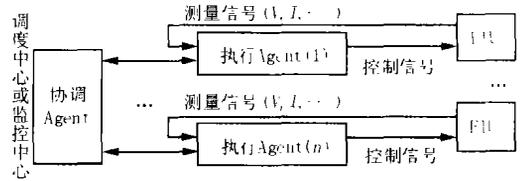


图 2 基于 MAS 的配电网故障处理系统整体结构

Fig. 2 Structure of fault based on MAS in disposing distribution system

2.3 执行 Agent

2.3.1 执行 Agent 的结构

本系统中执行 Agent 采用混合模型结构,如图 3 所示。

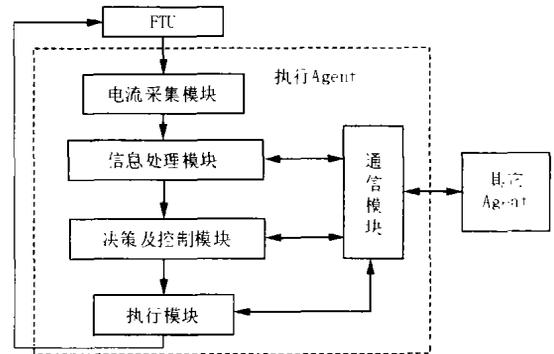


图 3 执行 Agent 结构

Fig. 3 Structure of executable Agent

电流采集模块采集各 FD 处的电流;通信模块负责与系统环境和其它 Agent 进行信息交互,包括接收其它执行 Agent 传递的电流信息和协调 Agent 传来的任务协助请求,向协调 Agent 发送合闸命令;信息处理模块负责对自身采集的电流和其它 Agent 接收到的信息进行初步加工、处理和存储;决策与控制模块是赋予 Agent 智能的关键,它运用所得电流信息按式(1)进行分析推理,如果符合式(1)则判断线路上是否还有电流,如果无电,则做出合理的决策发送给执行模块;执行模块功能是断开并闭锁 FD,并向通信模块发送闭锁完成信号。

2.3.2 执行 Agent 的动作规则

- 1) 信息处理模块接收到自身 CT 采集的电流值和由通信模块送来的电流值进行初步处理后送给控制决策模块;
- 2) 控制决策模块根据式(1)进行判断,如果符

合式(1)则进行下一步,检测 FD 上是否有电,否则不进行下一步,而重新采集电流信息;

3) 检测 FD,如果无电则给执行模块断开分段开关的命令,否则等待,直到 FD 上无电进行下一步;

4) 执行模块接收到断开命令后,断开分段开关并闭锁,同时通过通信模块上传给协调 Agent 断路器 DL1 合闸信息。如果分段开关不能断开,则执行模块也要通过通信模块上传失败信息寻求协调 Agent 的帮助。

2.4 协调 Agent

2.4.1 协调 Agent 的结构

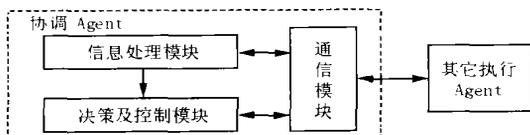


图 4 协调 Agent 结构

Fig. 4 Structure of coordination Agent

2.4.2 协调 Agent 的动作规则

协调 Agent 接收到执行 Agent 传递的断路器 DL1 合闸命令后就向断路器 DL1 发送合闸命令;协调 Agent 收到执行 Agent 协助完成任务的请求后,由其智能决策模块选择执行任务的 Agent。接收到协助命令的执行 Agent 通过在协调 Agent 的协调下完成控制任务。协调方式如图 5 所示。

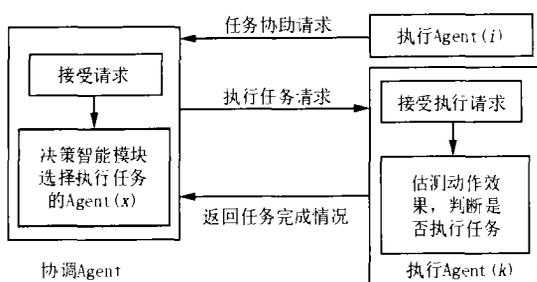


图 5 各个 Agent 的协调过程

Fig. 5 Coordinating process of each Agent

2.5 性能分析

如上所述,将基于 MAS 的配电网故障处理与目前配电网故障处理方式比较,可得以下几点结论:

1) 能充分发挥各 FTU 的自主能力。各个 FTU 作为具有主动行为能力的执行 Agent,可以不依赖于其它 FTU 或主站的命令,根据自己得到的信息,自主处理配电网故障,只有在必要时才需要主站进行协调。相比而言,在故障集中处理模式下,各 FTU

在处理配电网故障时只能完全依赖上级主站,主站是整个故障处理网络的瓶颈。

2) 各 FTU 的并行工作,增加了系统的可扩展性和工作效率。各 FTU 的执行 Agent 充分发挥 Agent 的自治性和社交能力等特点,在整个网络中并行有序地工作,能适应系统运行方式变化以及扩展的需要,增加了系统的灵活性和通用性。在故障集中处理模式下,各 FTU 只能被动地执行上级主站的命令,大部分时间处于等待命令状态,资源没有被充分利用。

3) 随着电力系统自动化水平、网络化水平的提高,将 MAS 与配电网自动化有机结合,将有很大的实用价值。

3 结语

故障处理是配电网自动化的首要任务。远动模式对整个通信系统和上级机的依赖性太大,影响动作的可靠性,恢复供电时间仍然较长。基于 MAS 的配电网故障处理方式,故障段判据简单明了,并且,所有开关保护同时并行采集信息、综合、判断故障段,因而避免了对整个通信系统和某台机的完全依赖,动作准确、可靠。

参考文献:

- [1] 程红丽 (CHENG Hong-li). 馈线自动化模式的探讨 (On Modes of Feeder Automation Systems) [J]. 西安科技学院学报 (Journal of Xi'an Institute of Technology), 2001, 9: 248.
- [2] 胡舜耕, 张莉, 钟义信 (HU Shun-geng, ZHANG Li, ZHONG Yi-xin). 多 Agent 系统的理论技术及其应用 (Theories, Technologies and Applications of Multi-agent Systems) [J]. 计算机科学 (Computer Science), 1999, 26 (9): 20.
- [3] 赵龙文, 候义斌 (ZHAO Long-wen, HOU Yi-bin). 多 Agent 系统及其组织结构 (The Architecture of Multi-agent Systems) [J]. 计算机应用研究 (Computer Application and Research), 2000, (7): 12-14.
- [4] 董红斌, 王建华 (DONG Hong-bin, WANG Jian-hua). 多 Agent 技术研究 (The Studies of Multi-agent Technology) [J]. 计算机应用研究 (Computer Application and Research), 1999, (10): 29-30.
- [5] 章琦 (ZHANG Qi). 基于面保护原理的配电网故障处理 (Disposing Fault of Distribution System with the Elements Based on Surface-protection) [J]. 浙江电力 (Zhejiang Power), 2002, 2: 14-17.

- [6] 周羽生,周有庆,戴正志(ZHOU Yu-sheng, ZHOU You-qing, DAI Zheng-zhi). 基于 FTU 的配电网故障区段判断算法(Algorithm for Fault Section Judgement in Power Distribution Network Based on FTU)[J]. 电力自动化设备(Electric Power Automation Equipment),2000,20(4):25-27.
- [7] Talukdar S, Ramesh V C. A Multi-agent Technique for Contingency Constrained Optimal Power Flows[J]. IEEE Trans on Power Systems,1994,9(2):855-861.
- [8] Tomita Y, Fukui C, Kudo H, et al. A Cooperative Protection System with an Agent Model[J]. IEEE Trans on Power Delivery,1998,13(10):1060-1066.
- [9] Nagata T, Sasaki H. A Multi-agent Approach to Power Sys-

tem Restoration[J]. IEEE Trans on Power Systems,2002,17(5):457-462.

收稿日期: 2004-03-12; 修回日期: 2004-06-16

作者简介:

刘淑萍(1979-),女,硕士研究生,研究方向为变电站综合自动化及微机保护;E-mail:1788P9465@sohu.com

韩正庆(1977-),男,博士研究生,研究方向为变电站综合自动化及微机保护;

高仕斌(1963-),男,教授,研究方向为牵引供电系统自动化、电力设备故障诊断。

Study on a scheme of fault disposing for distribution network based on MAS

LIU Shu-ping, HAN Zheng-qing, GAO Shi-bin

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Based on introducing the concept and characteristics of Agent and structure of multiAgent, a scheme of fault disposing for distribution network based on MAS is proposed in this paper. The structure of the system, function and coordinated mode are introduced in detail. And the analysis shows that it can realize fault isolating and voltage restoration.

Key words: fault of distribution network; Multi-agent system; coordinated control

(上接第3页 continued from page 3)

- [6] Kim S H, Lim J U. Enhancement of Power System Security Level through the Power Flow Control of UPFC[A]. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. 2000.1:38-43.

收稿日期: 2004-03-25; 修回日期: 2004-07-02

作者简介:

孙荣富(1982-),男,硕士研究生,研究方向为灵活交流输电系统及其智能控制。E-mail:eric_sunf@163.com

Optimizing location of UPFC using sensitivity factors

SUN Rong-fu

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The unified power flow controller (UPFC) has been proved to be an effective means for regulating voltage and power flow in modern power systems. Optimizing its location becomes a key point in the practical implementation stage. Approaches at present haven't take the influence of transmission line congestion into account. This paper introduces the concept of line active power flow performance index, compares real-time power flow with its ratings and uses overload severity as the guideline, thus, optimizes location of UPFC by means of index sensitivities with respect to control parameters of UPFC. Case studies show that this approach is concise and feasible.

Key words: UPFC location; line active power flow performance index; sensitivity factors