

# 基于 Multi-agent 技术的配电网网络重构研究

陈晓静<sup>1</sup> 孔冰<sup>2</sup> 邓亚文<sup>2</sup> 龚雪<sup>2</sup>

(1. 国网四川省电力公司供电服务中心, 四川 成都 610000;

2. 西南石油大学电气信息学院, 四川 成都 610500)

**摘要:** 当配电网发生故障时,需要调整网络中开关的状态,从而实现为失电负载恢复供电的目标。基于多代理技术,利用 JADE 开发平台,设计了一个多代理复电系统。简要叙述了多代理系统的特征,阐述了所设计的多代理复电系统中各代理的特点和作用,分析了多代理复电系统的主要工作流程,以及各代理在复电重构过程中的交互情况。模拟配电网发生线路故障,用该多代理复电系统对故障网络进行重构,检验了该多代理复电系统的运行情况。

**关键词:** 配电网; 复电重构; 多代理系统; 电力系统

**Abstract:** When there are failures in distribution network, it needs to change the state of the switches in the network in order to realize the power restoration. Based on multi-agent technology, a multi-agent service restoration system is designed using JADE development platform. A brief introduction of the characteristics of multi-agent system is given and the characteristics and functions of each agent in multi-agent service restoration system are described. The main working process of the system is analyzed as well as the interactions of each agent in the process of power restoration. The multi-agent service restoration system is used to reconfigure the system structure while the distribution network has a line fault, and its operation is verified.

**Key words:** distribution network; power service restoration; multi-agent system; power system

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)06-0026-03

## 0 引言

配电网的快速发展,以及用户对连续性供电的要求越来越高,对配电网快速、可靠的复电重构不断提出了新的要求。配电网的复电重构,即调整网络中的联络开关和分段开关的状态,找到一个最优的开关操作方案,从而为停电区域恢复供电<sup>[1]</sup>。在配电网的复电重构过程中,需要考虑如扩大复电区域、减少开关操作、最大限度减少复电时间、保持系统的辐射状架构等诸多因素<sup>[2]</sup>。目前解决配电网重构的方法大致有数学优化方法、启发式搜索方法、人工智能方法以及多代理技术等<sup>[3-5]</sup>。

文献[6]按照馈线自动化系统的功能将其划分为终端层、子站层和主站层,并将功能下放至子站层,各子站通过彼此之间的合作与协调共同完成故障检测、隔离和恢复的任务。文献[7]将故障恢复过程分为4个阶段,各代理按照预定步骤,逐步生成各阶段的故障恢复方案,减小了故障影响范围。文献[8]应用多代理技术,提出了以恢复负荷最多、开

关操作数最少为目标的供电恢复模型,建立了多代理系统,对含分布式电源的配电网的供电恢复问题进行了研究。基于多代理技术,利用 JADE 开发平台,为一个配电网设计了多代理复电系统,并检验了该系统的运行情况。

## 1 多代理系统概述

多代理系统(multi-agent system, MAS)是指能主动感知所处环境的变化并能作用于环境的软硬件集合。多代理系统中的各代理具有反应性、社会性、自治性等特点,对于某些特殊的应用系统,也可能主要利用代理的移动性等特征。

多代理系统中的各代理可通过自主性动作解决所遇到的问题;当单个代理遇到无法解决的问题时,它会通过与其他代理的协调与合作共同解决这个问题。因此,在多代理系统的设计中,不仅涉及到单个代理的体系结构、开发手段、功能配置等问题,还涉及到代理间的协调机制、交互方式、组织策略等问题。

多代理系统是可以协同工作的一种松散型系

统,其知识、数据及控制在逻辑上和物理上都可能是分散的,系统中各 Agent 分布于网络的各节点上,可方便地求解分布式问题和动态问题。电力系统配电网复电重构技术存在多目标、分区域、非线性以及多阶段等特点,属于多代理技术的研究范围<sup>[2]</sup>。

## 2 复电重构代理

利用 JADE 开发平台,为图 1 所示的配电网设计了一个多代理复电系统。如图所示,该配电网由 2 个变电站组成,每个变电站中都有 1 台变压器为 3 条支线供电,且每条支线分别为 4 条母线供电。在该配电网中分布着大量的联络开关(如 S1、S2、T1、T2),当配电网发生故障时,即是通过改变这些开关的状态,为失电的负载寻找到 1 条最优的复电路径,从而恢复停电区域的供电。

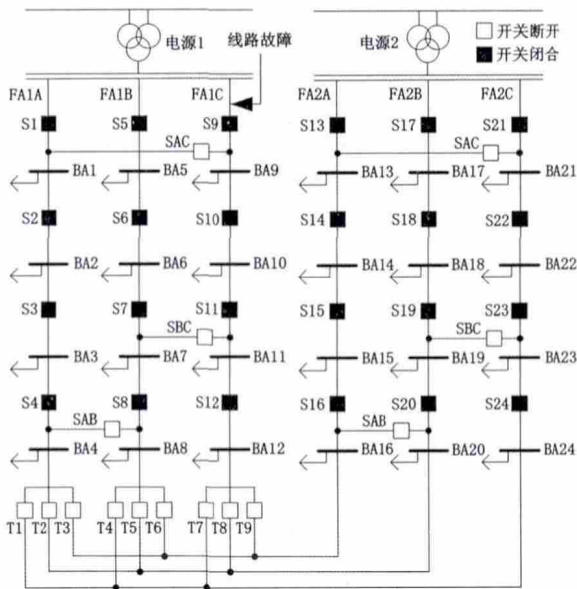


图 1 配电网结构图

在配电网的每条支线上都设置 1 个支线代理(如 FA1A、FA2A),这些代理主导故障后的复电过程。支线代理接收各母线代理的故障信息并进行综合地分析和判断,从而确定故障区域和故障程度;然后根据故障情况与网络中其他支线代理协调协商,最终找到 1 个最优的开关操作方案,实现失电负载的转供。

在配电网的每条母线上都设置 1 个母线代理(如 BA1、BA5),其主要任务是实时监测母线的工作状况,在母线故障时将故障情况报告给相应支线代理,并根据支线代理的命令操作相应开关。

## 3 复电策略及流程

### 3.1 复电策略

当实际配电网发生故障后,以何种目标指导复电过程取决于实际需要。为了直观地呈现多代理系统的工作情况,将复电目标简化为以下两点。

#### (1) 最大限度地恢复供电

当配电网中发生故障时,相应支线代理的任务之一即是尽最大可能为全部失电负载恢复供电。图 1 所示的配电网正常运行时,各支线及母线上的功率消耗值如表 1 所示(单位 MW),并设定系统中各支线可以提供的最大功率均为 1 000 MW。

表 1 正常运行时的功率消耗值

支线	1A				1B			
母线	1	2	3	4	5	6	7	8
功率	120	180	130	130	150	140	110	120
合计	560				520			
支线	1C				2A			
母线	9	10	11	12	13	14	15	16
功率	130	140	140	170	130	100	100	110
合计	580				440			
支线	2B				2C			
母线	17	18	17	18	17	18	17	18
功率	100	140	120	100	120	120	160	120
合计	460				520			

#### (2) 根据就近原则确定复电路径

配电网发生故障时,故障支线代理会逐一评价准备为其提供电力供应的支线,依次选择离它距离最小的支线提供的电力,直到所有停电区域都恢复供电。在图 1 所示的系统中,定义各支线间的距离如表 2 所示。

表 2 各支线之间的距离值

	1A	1B	1C	2A	2B	2C
1A	×	1	2	3	4	5
1B	1	×	1	4	3	4
1C	2	1	×	5	4	3
2A	3	4	5	×	1	2
2B	4	3	4	1	×	1
2C	5	4	3	2	1	×

### 3.2 复电流程

假设配电网在运行时发生了如图 1 所示的线

路故障,则支线代理 FA1C 会执行复电重构工作,其过程简述如下:①注册黄页服务:系统故障时,各支线正常工作且可以向外提供电力,各支线代理会在黄页上注册功率服务,表示其可以向其他支线输出功率。②接收故障信息:若支线 1C 上发生了线路故障,处于该支线上故障区域中母线代理会向支线代理 FA1C 发送故障信息。FA1C 接收、记录并分析这些故障信息。③注销黄页服务:若 FA1C 分析得出整条支线都已经停电,则它会注销其黄页服务。④搜索黄页服务并发出请求:为了恢复失电负载的供电,支线代理 FA1C 会搜索黄页上能够提供功率服务的支线,并向它们发出请求电力供应的 CFP 信息。⑤接收回复信息:接收到了 CFP 信息的支线代理会根据本支线的实际情况,决定是否同意故障支线代理 FA1C 的请求,并回复“同意”、“拒绝”或者不回复任何信息,FA1C 接收并记录这些信息。⑥评估建议信息:如果有支线代理准备为故障支线 1C 提供电力,则支线代理 FA1C 会逐一评估这些支线代理提供的建议信息,根据就近原则和最大限度恢复供电原则确定最优的复电方案。⑦方案执行:评估完成后,支线代理 FA1C 会发出命令操作相应的开关并连接上负载。

#### 4 仿真分析

所模拟的是支线 1C 发生线路故障时,多代理系统完成配电网故障重构的过程。由表 1 可得,当支线 1C 上发生线路故障时,该支线需要恢复的总功率是 580 MW。设定支线 1C 发生故障时,其它支线均正常工作,并都准备向 1C 提供富余功率。由于支线 1B 和 1C 之间的距离为 1,且支线 1B 目前可向外输出 480 MW 功率,所以 FA1C 会首先接收该 480 MW 功率。由于支线 1A 和 1C 之间的距离为 2,且支线 1A 目前可向外提供 440 MW 的功率,因此它会提供给支线 1C 另外的 100 MW 功率。网络重构后的系统结构如图 2 所示。

图 3(a)、(b) 由 JADE 平台上的 Sinffer Agent 监测到的该故障环境下各代理的交互顺序图。图中的每一列表示一个代理;每一行表示一次信息的交互过程,由信息发送者指向信息接收者。为了便于观察,图中只列出了支线代理 FA1A、FA1B、FA1C、BA9、BA10、BA11、BA12 等几个与该故障环境密切

相关的代理的交互情况。在图 3(a)、(b) 中,第 3~5 列分别代表支线代理 FA1A、FA1B、FA1C,第 6~9 列分别表示母线代理 BA9~BA12。图中各行信息所表示的具体含义如表 3 所示。

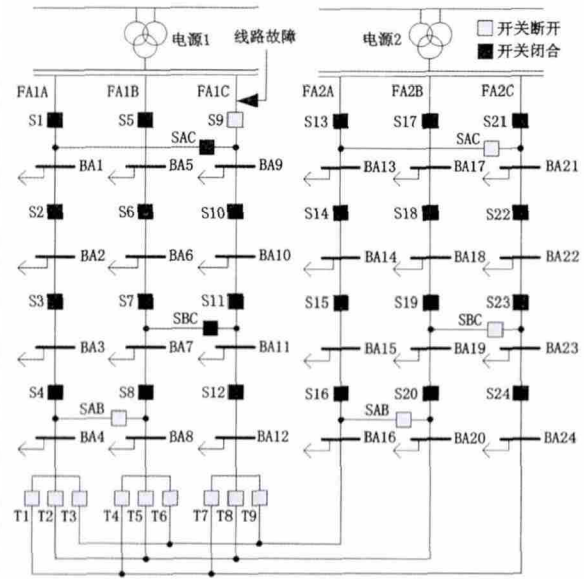


图 2 重构后的网络结构图

表 3 各代理交互信息描述

行数	信息含义
1~12	各支线代理在黄页上注册功率服务。
13~16	BA9~BA12 向 FA1C 发送故障信息。
17~20	FA1C 在黄页上注销其功率服务。
21~22	FA1C 在黄页上搜索注册了功率服务的代理。
23~27	FA1C 向注册了功率服务的代理发出 CFP 信息。
28~32	各支线代理向 FA1C 回复“建议”信息,表示可以提供富余电力。
33~39	FA1C 接受 FA1B、FA1A 的“建议”,拒绝剩下的“建议”,并获取支线 1B 和 1A 上的富余电力。
40~43	FA1C 命令 BA9、BA12 闭合开关 SAC、SBC; 动作完成后,BA9、BA12 回复确认信息。
44~45	FA1C 请求订阅 FA1B 和 FA1A; FA1A 和
50~51	FA1B 回复信息,表示同意订阅。
46~49	FA1C 命令各母线代理 BA9~BA12 连接负
52~55	载;动作完成后,BA9~BA12 回复确认信息。

#### 5 结论

以多代理技术为基础,利用 JADE 开发平台,设计了一个多代理复电系统,并检验了该系统的运行情况。多代理系统的分布式控制功能,为问题的求解提供了一个更快捷的途径。尽管多代理技术的研

(下转第 54 页)

[9] 王红梅. 特高压直流输电技术现状及在我国的应用前景[D]. 北京: 华北电力大学, 2006.

[10] 王凤至, 张素霞. 自制大电流直流可调电源[J]. 河南师范大学学报, 1994, 18(2): 120.

[11] 揭秉信. 磁调制器的理论分析与计算[J]. 仪器仪表学报, 1982, 3(1): 57-63.

[12] 李维波, 李启炎, 任士炎, 等. 新型直流大电流比较仪

的建模与仿真研究[J]. 四川工业学院学报, 2001, 20(2): 8-12.

[13] 李恺, 罗志坤, 欧朝龙, 等. 基于电流比较仪测试直流互感器误差的方法[J]. 湖南电力, 2010, 30(5): 41-44.

(收稿日期: 2013-07-21)

(上接第28页)

究已经取得了很大的进展,但总的来说,多代理技术还不成熟,还需要深入的研究。此外,由于多代理技术的成本较高,加之配电系统对安全性的要求较高,所以多代理技术在配电系统中的应用还较少。但由于多代理技术的诸多优点,随着其成本的降低和技

术的成熟,多代理技术在电力系统中的应用定会越来越广泛。

### 参考文献

[1] 徐青山. 电力系统故障诊断及故障恢复[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

[2] 孔冰, 赵泽茂, 李红伟. 基于多代理技术的配电网网络复电技术[J]. 电气应用, 2013, 32(7): 28-31.

[3] 刘莉, 陈学锋, 翟登辉. 智能配电网故障恢复的现状与展望[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(13): 148-152.

[4] 李鹏飞. 基于人工智能的配电网故障恢复重构研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008.

[5] 冯树海. 配电网网络重构方法研究[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(5): 13-15.

[6] 王照, 马文晓, 高飞. 基于多代理技术的分布式馈线自动化实现方法[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(6): 54-56.

[7] 丁施尹, 刘明波, 谢敏, 等. 应用多代理技术求解高压配电网故障恢复问题[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(9): 54-60.

[8] 王守相, 李晓静, 肖朝霞, 等. 含分布式电源的配电网供电恢复的多代理方法[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(10): 61-65.

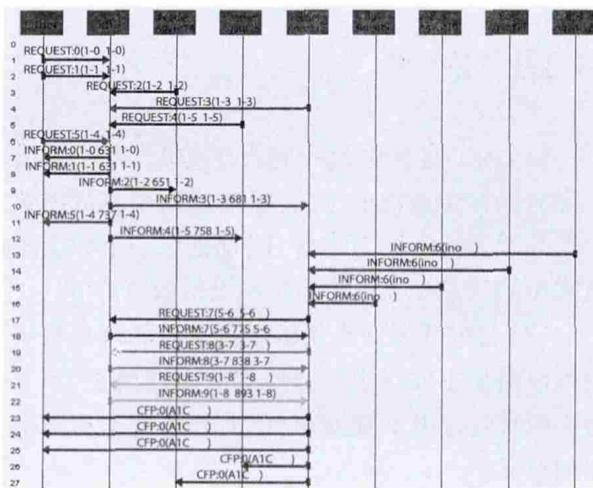
[9] 于卫红. 基于JADE平台的多Agent系统开发技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.

### 作者简介:

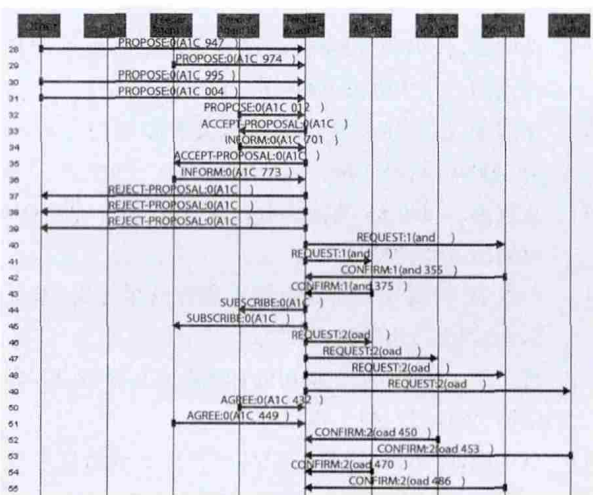
陈晓静(1979),女,工程师,主要从事电网运行监控及智能电网研究工作;

孔冰(1989),男,硕士研究生,主要从事智能体及多代理系统研究。

(收稿日期: 2013-08-05)



(a)



(b)

图3 各代理的交互顺序图