

基于多代理技术的含分布电源的智能配电网

王健^{1,2}, 王伟¹, 屈志坚^{1,2}, 曹琪³, 刘斌³

(1. 北京交通大学电气学院, 北京 100044; 2. 华东交通大学电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013;
3. 白山供电公司, 吉林 白山 134300)

摘要: 提出了一种利用多代理系统技术实现智能配电网的设计方案。系统由控制代理、分布电源代理、用户代理和应用代理组成。对含分布电源的配电网的智能化进行了阐述, 对多代理智能配电网系统进行了建模和设计, 给出了系统的结构图、每个代理的功能、系统模型图和协作图, 并说明了智能配电网的工作原理。

关键词: 分布电源; 多代理技术; 智能电网; 配电网; 建模

Intelligent distribution network with distribution generations based on multi-agent technology

WANG Jian^{1,2}, WANG Wei¹, QU Zhi-jian^{1,2}, CAO Qi³, LIU Bin³

(1. College of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;
2. College of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;
3. Baishan Power Supply Company, Baishan 134300, China)

Abstract: A design plan of the intelligent distribution network is proposed based on multi-agent system (MAS). The system consists of control agent, distributed generators agent, user agent and utility agent. First, the intelligence of distribution network with distribution generators is expounded. Then the intelligent system based on multi-agent technology is designed. The MAS architecture diagram of the distribution network, function diagram of each agent-application model and distribution network system collaborative diagram are given. Finally, the working theory of intelligent distribution network based on multi-agent system is illustrated.

Key words: distribution generation; multi-agent technology; smart grid; distribution network; modeling

中图分类号: TM711; TM727.2; TP18 文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2010)11-0086-04

0 引言

2003 年美加发生大停电事故的深刻教训, 以及可再生电源和分布式电源的发展要求, 使不同的国家和组织都不约而同地提出, 要建设具有灵活、清洁、安全、经济、友好等性能的智能电网, 将智能电网视为未来电网的发展方向。

由于目前在发、输、配、用电这一链条中, 同发电和输电环节相比, 配电、用电以及电力公司和终端用户的合作等环节上相对薄弱, 影响了系统的整体性能和效率, 所以本研究重点关注的是配电网的智能化。

Multi-Agent 系统 (MAS) 是指多个 Agent 成员之间相互协调, 相互服务, 共同完成一个任务的高度开放的智能系统, 其关键问题是如何组织由多个 Agent 组成的群体, 以及多个代理的协调合作。将

Multi-Agent 技术引入到配电领域, 可以增强电力负荷管理的自适应性、实时性与可扩展性, 可以在未来任意添加新的负荷管理模块, 不断完善自身功能^[1-3]。

1 配电网智能化概述

1.1 智能电网的概念及组成

智能电网指一个完全自动化的供电网络, 其中的每一个用户和节点都得到了实时监控, 并保证了从发电厂到用户端电器之间的每一点上的电流和信息的双向流动。通过广泛应用的分布式智能和宽带通信及自动控制系统的集成, 它能保证市场交易的实时进行和电网上各成员之间的无缝连接及实时互动^[4]。

电力系统电能生产、输电部分以及智能配电网 (含有智能微网) 的关系如图 1 所示。

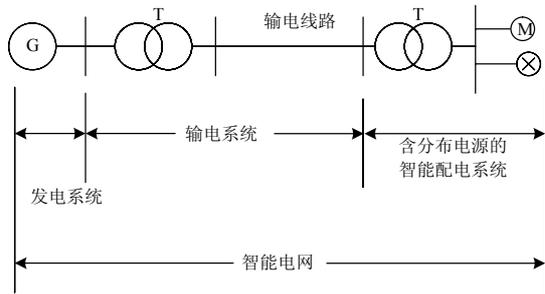


图1 智能电网的结构

Fig.1 Structure of smart grid

智能微网是指由分布式电源、储能系统、负荷和保护装置汇集而成的配电子系统。并网运行时，智能微网通过公共连接点与主电网连接。当主配电网中发生故障或出现较大扰动时，智能微网迅速与主配电网解列，独立向其内部重要负荷供电；当主配电网故障消失、完全恢复正常后，智能微网还可以通过并网控制再次与主配电网连接，重新进入并网运行状态。

1.2 配电网智能化

智能化配电网包含系统的监视与控制、配电系统管理功能和与用户的交互(如负荷管理、量测和实时定价)^[5-8]。

通过与智能电网的其他组成部分的协同运行，智能配电网既可改善系统监视、无功与电压管理、降低网损和提高资产使用率，也可辅助优化人员调度和维修作业安排等。如：一个配电系统在紧急状态下可以自行变成可控的安全岛，而使用它本地的分布式能源；分布电源（Distribution Generators, DGs）可以辅助实施电压与无功优化，且当并联电容器停运时，系统可以从分布式电源获得电压支持；可以通过实时电价，激励电力用户参与到电力系统的削峰、填谷中来。

为此智能配电网需要更复杂的控制系统。系统全部元件必须在一个开放式的通信体系结构内并具有协同工作能力；将使用经由分布式计算的局部分布式控制；使用传感器、通信系统和分布式的计算主体，对电力交换系统上的扰动快速作出反应，以使其影响最小化。

在局部分布式控制的概念中，在全配电网中使用分布式的配电运行中心和中央配电控制中心。中央配电控制中心将监视全配电网（包括遍布配电网和其他局部代理的嵌入智能电力电子装置）的微处理器，协调其分布式的控制能力。中央配电控制中心将同输电部分的控制相协调，监视全系统的潮流；它也负责协调在配电部分中的分布电源

(DGs)与在输电部分中的大型发电机的电压、无功管理、应急处理和系统恢复等。而局部的配电运行中心将控制局部系统实现传统的配电自动化功能，如故障定位、隔离和服务恢复、多重网络重构、继保再整定和电压/无功优化控制等。

2 含分布式电源的多代理智能配电网系统的设计

2.1 多代理系统的结构

多代理系统的目标是将集中系统处理的复杂问题划分成由分布式系统处理的简单问题。含分布式电源的多代理智能配电网系统如图2所示。多代理系统由四种代理构成，分别是控制代理、分布电源代理、用户代理和应用代理，而应用代理又包括数据服务代理和可视化模块。在该系统中，每个代理有各自的目标和责任。四个代理协同工作实现故障断电期间确保重要负荷可靠供电的总体业务目标^[9-11]。

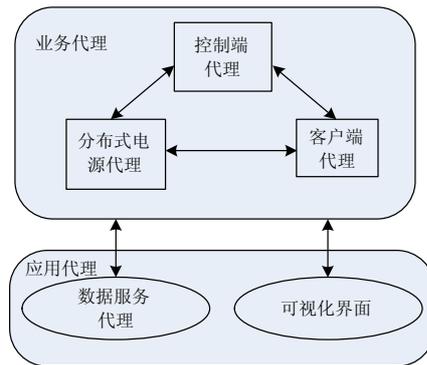


图2 配电网多代理系统结构

Fig.2 MAS architecture of the distribution network

1) 控制代理的功能包括监视系统电压和频率，监测事故。当有故障发生时，控制代理给主干网断路器发送信号，使智能微网与主干电网隔离。另外控制代理的功能还包括从主干电网接收电价信号并发布给智能电网的其他部分。

2) 分布电源代理负责存储相关分布电源信息，也可以监控分布式电源功率以及连接状态。分布式电源信息包括设备数量、类型、额定功率、燃料利用率、电价等。

3) 用户代理作为智能微网提供给用户了解相关信息的通道。用户代理为客户提供智能系统各实体的实时信息。用户代理也可以监视重要和非重要负荷的电能消费。还允许用户按照预定的优先级控制负荷的状态。

4) 应用代理负责存储系统信息、记录信息以及

各代理之间的信息共享。应用代理也作为各代理的数据存取和用户显示模块。

2.2 系统模型及工作原理

2.2.1 系统模型图

下面通过两个视图来进行说明多代理系统的应用模型。图3说明了应用代理的作用，这些作用会在各种实际应用中应用，为具体的应用提供必要的数据库服务和可视化服务。应用代理功能包括命名服务器功能、认证服务器功能和可视化功能。

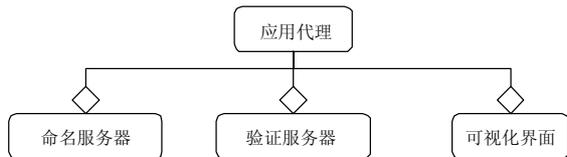


图3 应用代理的功能构成
Fig.3 Functions of utility agent

命名服务器功能是管理已知各代理的注册以及他们的实际网络位置。认证服务器负责代理及其服务的注册。系统启动的时候，认证服务器会从命名服务器获得激活代理的列表然后通过定时轮询的方式收集信息。各代理可以通过查询认证服务器获取其他代理的信息。

可视化模块向用户提供独立的可视化服务。启动时，可视化模块从命名服务器获取激活的代理信息，然后从各代理接收相关的数据信息并实时地显示出来。

图4给出了应用代理和完成具体业务的代理之间的关系。相比较应用代理来说，业务代理主要负责实现具体行业的各种专业化的功能。各种角色之间的相互作用将在系统的协作部分介绍。

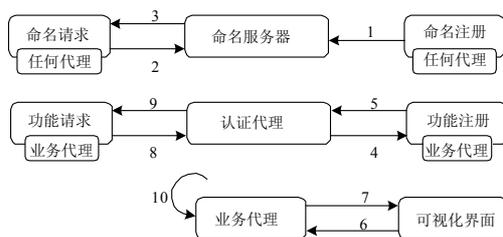


图4 应用代理和完成具体业务的代理之间关系
Fig.4 Relation between utility agent and task agents

2.2.2 系统协作图

为了明确代理的作用和责任，通过协作图来理解和模型化问题。协作图说明了各代理之间的交互以及与环境交互。多代理系统协作图如图5所示。三个智能电网代理都与数据库代理进行交互，数据库代理由命名服务器和认证服务器组成。可视化界面接收多代理系统内的交互信息，然后显示给用户

查看。命名服务器、认证服务器和可视化界面统称为应用代理。所有的信息是基于TCP/IP协议进行交互的。

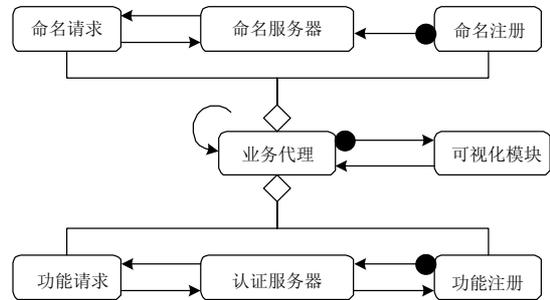


图5 多代理系统协作图

Fig.5 Multi-agent system collaborative diagram

多代理系统的工作过程如图6所示。多代理系统的初始化由控制代理执行，分布电源代理和用户代理通知数据库代理他们的出现。这个过程包括：1) 所有代理通知命名服务器他们的名字和IP地址，然后命名服务器更新数据库，完成代理注册请求过程(1-3)；2) 所有代理通知认证服务器他们的功能，然后认证服务器将各代理相关的功能信息写入数据库(4-5)；3) 可视化模块接收各代理的活动信息并显示出来(6-7)；4) 认证服务器开始处理关于询问已知代理功能信息的问题(8-9)。

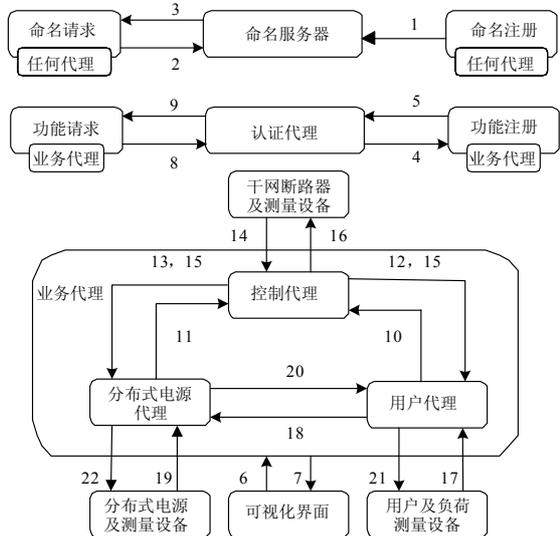


图6 智能配电网协作图

Fig.6 Distribution network system collaborative diagram

初始化过程之后，用户代理和分布式电源代理向相应的控制代理进行注册(10-11)。控制代理负责对注册请求做出响应(12-13)。对于代理与各自环境的交互，控制代理接收主网的监测信息，发布给注册的代理(14-15)。如果出现停电故障，控制代理给干线断路器发出指令信号(16)。用户代理从负荷获

取电力请求信息并发送命令给分布式电源代理(17-18)。

另一方面, 分布电源代理从分布电源获取电能生产信息并将信息发送给用户代理(19-20)。用户代理和分布电源代理通过用户预先设定的规则对发生的情况做出反应(21-22)。当主配电网发生故障时, 对应公共连接点的并网断路器检测到系统频率和电压降落, 并且伴随着较大的故障电流持续从微网流入主配电网, 断路器应能够及时动作, 微网内的各种分布式电源采用合理的控制策略, 维持微网频率和电压的稳定, 使微网从并网运行状态平滑地过渡到独立运行状态, 保证对内部负荷的持续供电。

3 结束语

本文所设计的基于多代理技术的智能配电网系统具有开放、复用、智能的特征。通过该系统可以确保重要负荷可靠供电; 不同的分布式电源设备在智能电网内通过网络协议相联系; 可以自动保持系统的完整性。

参考文献

- [1] 王洪涛, 刘玉田, 邱夕兆, 等. 基于多 agent 的电力系统主从递阶恢复决策[J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (15): 5-9.
WANG Hong-tao, LIU Yu-tian, QIU Xi-zhao, et al. Multi-agent based stackelberg decision for power system restoration[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (15): 5-9.
- [2] N AT, S IH. A multi-agent approach to power system restoration[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17 (2): 457-462.
- [3] 卢志刚, 董玉香. 含分布式电源的配电网故障恢复策略[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (1): 89-92.
LU Zhi-gang, DONG Yu-xiang. Service restoration strategy for the distribution system with DGs[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (1): 89-92.
- [4] 赵伟, 白晓民, 丁剑, 等. 基于协同式专家系统及多智能体技术的电网故障诊断方法[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26 (20): 1-8.
ZHAO Wei, BAI Xiao-min, DING Jian, et al. A new fault diagnosis approach of power grid based on cooperative expert system and multi-agent technology[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26 (20): 1-8.
- [5] Fuller J F, Fuchs E F, Roesler K J. Applying multi-agent system technology in practice: automated management and analysis of SCADA and digital fault recorder data[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2006, 21 (5): 559-567.
- [6] McArthur S D J, Davidson E M, Catterson V M, et al. Multi-agent systems for power engineering applications: part I concepts, approaches, and technical challenges[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2007, 22(4): 1743-1752.
- [7] 尹丽燕, 于继来. 多时间段的配电网动态重构[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22 (7): 44-48.
YIN Li-yan, YU Ji-lai. Dynamic reconfiguration of distribution network with multi-time period[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22 (7): 44-48.
- [8] 赵波. 群集智能计算和多智能体技术及其在电力系统优化运行中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
ZHAO Bo. Research on swarm intelligence computation and multi-agent technique and their applications to optimal operation of electrical power system[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.
- [9] 郭创新. 基于多智能体技术的电力企业开放信息集成体系结构研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (4): 64-70.
GUO Chuang-xin. Studies on power enterprise open architecture of information integration based on multi-agent system technology[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 (4): 64-70.
- [10] 朱永利. 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. Study on multi-agent and WAN based adaptive coordinated protection system[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26 (16): 15-20.
- [11] 陈卫民, 陈国呈, 等. 分布式并网发电系统在孤岛时的运行控制[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (9): 88-91.
CHEN Wei-min, CHEN Guo-cheng, et al. Running control of grid-connected dispersed generation systems in islanding situation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (9): 88-91.
- [12] 王成山. 微网综合控制与分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (7): 98-103.
WANG Cheng-shan. Synthetical control and analysis of micro grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (20): 97-102.
- [13] Karady G G, Daoud A A, Mohamed M A. On-line transient stability enhancement using multi-agent technique[C]//IEEE 2002 Power Engineering Society Winter Meeting. New York: 2002.893-899.

收稿日期: 2009-08-02; 修回日期: 2009-11-09

作者简介:

王健(1978-), 男, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统在线监测、电力系统图形系统等; E-mail: 09117351@bjtu.edu.cn

王玮(1959-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统在线监测、新能源及新型发电技术、工作流理论及其应用等;

屈志坚(1978-), 男, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为牵引供电监控、SCADA 数据库系统等。