

基于 Agent 的电力系统控制协调的智能体构架

刘群英, 刘天琪

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610064)

摘要: 在电力系统迈向高度自动化的今天, 各种针对电力系统各部分(如发电厂、变电站、输电线路等)以及被控量(如功率、电压、频率、相位等)的控制和调节而设计的控制装置已应用于电力系统。在各种电气设备不断智能化的同时, 如何完成相应控制之间的交互以及如何处理这些控制系统之间的协调是当前电力系统亟待解决的问题。该文基于 Agent 技术构建了多控制系统的智能体体系结构, 并详细阐述了它在解决协调控制问题上的应用, 为解决电力系统中各控制系统之间的协调问题提供了新的思维模式。

关键词: Agent; MAS; MCS; 协调

中图分类号: TM76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)17-0081-05

0 引言

在电力系统中, 系统的协调问题是一项悬而未决的技术难题。由于电力系统是一种高维动态系统, 整个系统特性与各组成子系统特性及其关联特性相关。不论是变换能量的原动机、发电机还是输送、分配电能的变压器、输配电线路及用电设备等, 只要其中任何一个元件发生故障, 都会影响电力系统的正常工作, 其控制系统的动作可以处理本系统范围的故障, 也会给其它控制和电气设备带来或正或负的影响。因此, 如果各控制之间缺乏沟通和协调, 负面影响可能波及整个电力系统。由于协调问题更多地涉及了个体的思想、感觉和行为规范的整体调整, 而硬件方面的改进只能在某些程度上改善控制的性能, 不可能赋予控制以人的心智成分, 包括承诺、意念、能力、经验、决策等, 因而致力于软件的研究成为解决系统协调问题的最终途径。自从电力系统推行自动化以来, 电力系统的软件开发主要采用基于面向对象的方法。毋庸置疑, 该方法的出现和发展曾极大推动了电力系统自动化的快速发展。然而, 随着电力系统网络化进程的加快, 分布式应用在不断增多, 原有的思维模式由于自身缺乏良好的主动性和适应性, 对象之间缺乏良好的协作模式, 因此不能满足当前电力系统控制技术在分布式网络环

境下的应用要求。对于解决系统内部各控制系统之间的交互和协作以及资源共享问题, 传统的思维模式已经无能为力, 必须采用新的模式来重新构建电力系统自动化软件体系。

多 Agent 技术 (Multi-Agent) 就是完成这一使命的新技术。概括地说, Agent 是一种处于一定环境下包装的计算机系统。基于它的自治性、协作能力、反应能力和自发行为特征, MAS (Multi-Agent-System) 不仅研究单个代理复杂的体系结构及这个代理之间的简单交互, 还研究大量代理之间的复杂交互, 即建立复杂的多 Agent 系统模型^[1~4]。本文利用 Agent 智能化的工作机制和强大的开发应用功能, 通过将电力系统各控制设备的控制规则转化为软件组件的进程和经验, 使用电力系统计算机控制网络作为一种环境来得到电力系统各控制之间的协调问题的解决方案, 再根据解决方案构建了一套新的框图模式, 并根据多控制系统的实际特点提出了小影响度优先法的协调方式, 以期为电力系统各控制之间的协调提供新的思想途径。

1 智能体 Agent

智能体 Agent 是指那些宿主于复杂的动态环境, 自治感知环境中信息, 自主采取行动, 并实现一系列预先设定的目标或任务的计算机系统。它具

Abstract: With digital transferring interface and G. 703 64 k in phase digital interface of communication equipment, the remote information are transferred directly without modifying existing channels. And the transferring rate can be improved to 4.8 k~56 kbps with facilities reliable operation.

Key words: dispatching automation; G. 703; digital interface

有推理和学习能力、自主与协同工作能力以及在所处环境中的灵活访问和迁移机制以及同其它智能 Agent 的通信和协调机制,概括起来就是智能性、代理性和机动协调性。

本文根据 Agent 的特性和电力系统各控制系统间信息交互和相互协调难的特点来定义 Agent 的功能,其功能分为内部功能和外部功能。内部功能是指 Agent 对为完成自己的目标需要具备的素质,主要包括:保存来自被控对象的所有数据信息;感知数据的变化并分辨变化类型;分析引起控制状态变化的原因;运用自己的处理规则解决出现的问题。外部功能是指 Agent 对除自身以外的环境的影响,主要包括:与其它 Agent、用户及其它外部对象进行信息交互和共享资源;与其它 Agent 进行协商与合作,从全局出发完成自己的任务。基于这些定义给出个体 Agent 的构成,如图 1 所示。

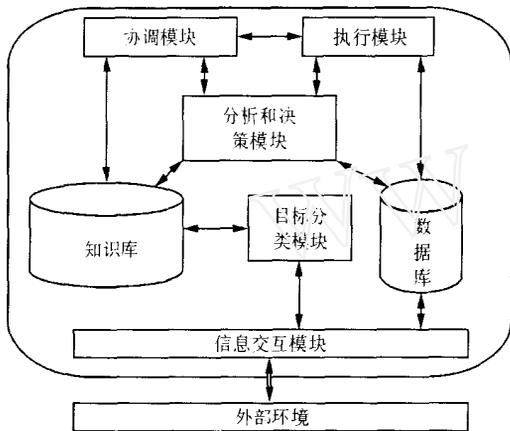


图 1 个体 Agent 体系结构
Fig. 1 Structure of single Agent

由于单个的 Agent 能力毕竟是有限的,在实际应用中,通过适当的体系结构把多个 Agent 按照一定的协作机制组织起来形成相互协调协作的系统,即 MAS (Multi-Agent System),这样就可以弥补单个 Agent 的不足,而且整个系统的能力将超过任何单个 Agent 的能力。我们将 MAS 引入电力系统的多控制系统,主要研究如何协调多控制系统中各 Agent 的智能行为,以及单个 Agent 为采取联合行动又是如何协调自己的目标、策略和规则的。

2 多控制系统的交互式智能体体系结构研究

2.1 多控制系统的智能体模型结构

电力系统的多控制系统 (Multi - Controller Sys-

tem,简称 MCS)是把电力系统中若干与某一被控量有所关联的物理控制实体划分在一起组成的系统,在这种情况下,电力系统中除这一系列控制实体以外的其它部分均被看作 MCS 所处的环境。当我们要研究 MCS 中的一个控制装置时,其它的控制装置就看作环境的一部分,但它们仍然是当前物理控制实体的协作对象。现在假设有一包含 N 个控制实体的 MCS,我们将据此构建一个 MAS, MAS 中的每个 Agent 代理一个控制实体,并由协调 Agent 根据 MCS 的任务来完成所有 Agent 间的协调。其模型如图 2。

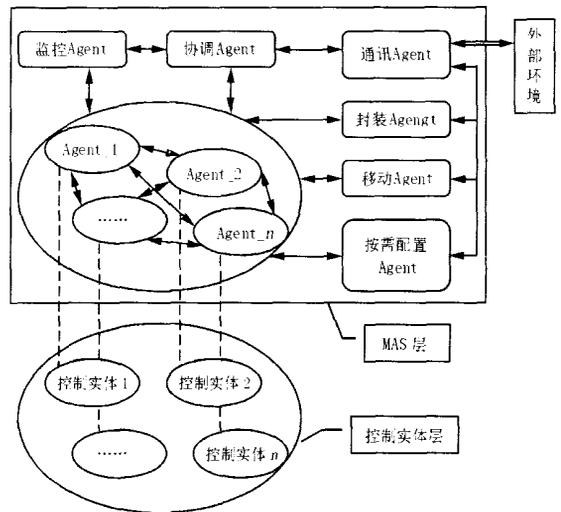


图 2 MCS 的 MAS 模型结构

Fig. 2 The MAS model structure of MCS

2.2 MAS 体系结构

在图 2 中, MAS 层包括两个功能层:系统模型层和协调控制层。其结构如图 3 所示。

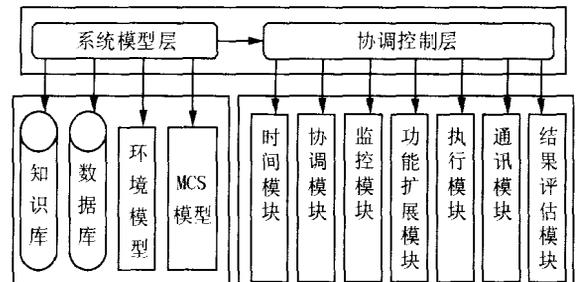


图 3 MAS 智能体体系结构示意图

Fig. 3 Intelligent structure of MAS

2.2.1 系统模型层

系统模型层包括四个模块:多控制系统模块、环境模块、数据库和知识库。

(1) 多控制系统模块。它包含三个结构体数据

块:控制实体背景数据块、多控制系统状态数据块和控制系统行为数据块。

控制实体背景数据块主要描述控制实体的个数及其所处的地理位置。

多控制系统状态数据模块主要描述多控制系统的状态,一般包含两种情况下的数据信息:

正常状况下的控制系统内控制实体的个数状态信息(Normal Condition Controller Data,简称 NC-CD)及其与其它控制实体间的关系描述,将其形式化为{时刻 T ;各控制实体状态 S ;控制实体之间的关系 R }; $T:\{t_0, t_1, t_3, \dots, t_n\}$

故障出现时系统内各控制实体的数据信息(Abnormal Condition Controller Data,简称 ACCD)及其与其它实体间的关系描述,将其形式化为{时刻 T ;各控制实体状态 S ;控制实体之间的关系 R }; $T:\{t_0, t_1, t_2, \dots, t_n\}$ 。

控制系统行为数据块主要描述系统内各控制模块的行为,包括启动、调节和停止等,可形式化为三元组{ t :Action, Regulation, Stop}。

(2) 环境模块。它是关于整个电力系统的描述,一般是对电力系统的地理分布的描述或者对来自外界干扰的描述。

(3) 知识库。它既包含单个 Agent 对自己本区域事务的处理规则,也包含与其它 Agent 协调协作之后或者对本区域规划后生成的子任务集,Agent 根据任务集来确定自己的行为,以实现目标。

(4) 数据库。它包含多控制系统内各控制对应的被控设备和被控参数(频率、电压、相位、功率等)在任何时刻的数据信息。

2.2.2 协调控制层

协调控制层描述各个 Agent 间的协调协作。在该层,Agent 基于自己的系统控制模型通过通信模块与系统中的其它 Agent 交互和协调,根据其它 Agent 的任务集来不断修改自己的任务集,最后建立起以其中的一个或者多个 Agent 为主导、其它相关 Agent 作为协作对象的全局协调规划。

协调控制层包括七个模块:执行模块、协调处理模块、结果评估模块、功能扩展模块、监控模块、时间模块、通信模块。

(1) 执行模块。执行模块是 Agent 接到任务请求后,通知或联络协调处理模块和结果评估模块,然后根据这些模块提供的结果来执行相应的行为。

(2) 协调处理模块。它处理 Agent 间的协调问题。当 Agent 感知到环境或者目标发生了变化之

后,立即通过形势分析模块,分析该环境变化或者目标变化决策是否需要与其它 Agent 协调,是否需要修改本区域规划或目标来选择更有利于全局目标的行为。

(3) 结果评估模块。结果评估模块主要分析协调的结果以及 Agent 执行任务过程中对全局的影响是良性还是恶性。如果是恶性,则需要再向其它 Agent 发出协调请求。

(4) 通信模块。通信接口负责 Agent 间的通信,为 Agent 的协调模块提供服务。它有着丰富的通信语言,可根据用户的习惯来定义。

(5) 监控模块。负责对各个 Agent 的功能和任务执行情况进行监视,如果出现个别 Agent 不能胜任任务的时候,它将立即通知协调 Agent 进行重新协调。

(6) 功能扩展模块。该模块主要根据 Agent 的固有属性和可扩展属性,定义了三种模块:移动模块(Mobile Agent)、封装模块(Package Agent)和按需配置模块(Assemble-On-Demand Agent)。通过它们,MAS 在解决电力系统的实际问题时,功能将更加完整。

(7) 时间模块。严格计算和限制各 Agent 在相互协调及处理任务的时间花费,以满足电力系统对时间的要求。

以上系列模块在具体执行任务时的控制流程如图 4 所示。

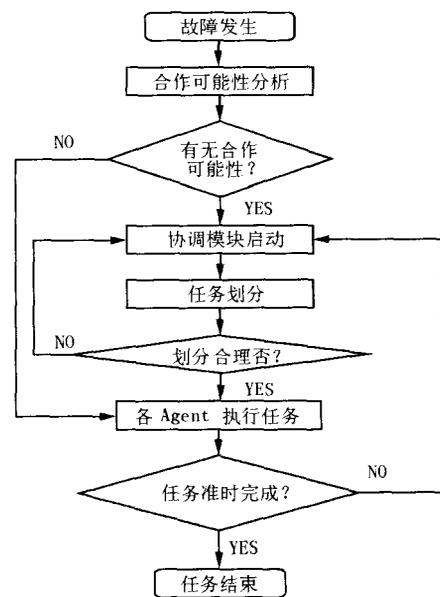


图 4 模块控制流程

Fig. 4 Control Process of the modules

2.3 MAS 中各 Agent 间的协调机制及具体的实现方式

2.3.1 MAS 中的协调机制研究

据Jennings的协调理论,所有的协调机制最终要归结为承诺和其附带的规范,即协调 = 承诺 + 社会规范 + 局部推理。据此,我们现假定 A 为 MAS 中 Agent 的任务集的集合(即承诺), T 为分析和处理事件的规则(即推理机制), H 为全局约束(即社会规范), ω 为 Agent 完成任务的能力的集合, K 为系统中所有事故的集合,当系统中 K 出现(即发生故障)时,每个 Agent 在该次任务中可能承担的责任大小为 $A(K)$,每个 Agent 都服从一个全局约束。

$$R = \max RESULT(A(K), \omega, T) \quad (1)$$

$$\min H(A(K)) = 0(\text{全局约束}) \quad (2)$$

其中: $K = \{K_1, K_2, K_3, \dots\}$ 为多控制系统中可能发生的所有故障的集合; $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots\}$ 为 MAS 中 Agent 完成任务能力大小的集合; $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots\}$ 为各 Agent 的推理机制; $\max RESULT(A(K), \omega, T)$ 是使各 Agent 最好地完成的结果; $\min H(A(K))$ 是指各 Agent 的任务集的完成应以对全局稳定状态的影响尽可能小为前提。

如何达到个体目标和全局约束的平衡,即如何寻求二者的最佳折中点,关键的问题是合理消除个体之间的冲突。在 MCS 中,每个控制器地位均是同等重要的,以公共知识和演绎为基础的矛盾处理方法,如标准化、仲裁和调停等,重在突出主从关系,在该 MAS 中不太适用。多控制系统的 MAS 中要达到全局协调就需要协商,利用通信通过推断系统中其它 Agent 的状态和意图去识别 Agent 间可能的相互作用,然后在全局协调约束下修改这些意图,以避免 Agent 间不利的相互作用。

2.3.2 MAS 中的协商方式研究

协商是协调的有效手段,本文采用协商式的协调,其过程如下:

- 1) 监控 Agent 发出任务信息。
- 2) 评估 Agent 确定有合作可能性的 Agent,并估计 Agent 对此次任务所负责任大小的指标。
- 3) 有合作可能性的 Agent 结合自身以及自己了解到的别的 Agent 的情况来给出自己的责任范围和求解方案,组成任务空间 $\{B_i\}$ 和解空间 $\{R_i\}$ 。
- 4) 协调 Agent 和评估 Agent 一起修改解空间 $\{R_i\}$,得出最好的任务分配方案和求解结果。

协商的方式一般有服从多数法、自信度优先法以及可信度优先法等,这里根据多控制系统的实际特点,提出一种小影响度优先法。过程如下:

假设发生某一故障 K_m

1) 首先各 Agent 根据自己对 K_m 所负责任大小来确定自己的行动方案,并向协调 Agent 提交。

2) 由协调 Agent 在网络中发布解空间 $\{J(K_m)\}$ 。

3) 由各 Agent 分析每个方案的执行对自己的负面影响大小 $fJ(K_m)_{ij}$ (如果是正面影响,则影响度计为零, i 表示方案序号, j 表示所影响的 Agent 的序号),组成负面影响指标矩阵如下:

$$FJ(K_m) = \begin{bmatrix} fJ(K_m)_{11} & \dots & fJ(K_m)_{1n} \\ \dots & & \dots \\ fJ(K_m)_{n1} & \dots & fJ(K_m)_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

(4) 由协调 Agent 根据上面给出的全局约束来确定权重矩阵 $\{w_i | i = 1, 2, 3, \dots, n\}$,且满足 $\sum w_i = 1$ 。该权重矩阵表示该故障下每个 Agent 在全局中的地位。

(5) 由负面影响度矩阵和全局影响度矩阵来确定综合影响度大小, $\{P_i | i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ 就是对各个 Agent 所提出方案的最终评判结果。

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ \dots \\ P_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} fJ(K_m)_{11} & \dots & fJ(K_m)_{1n} \\ \dots & & \dots \\ fJ(K_m)_{n1} & \dots & fJ(K_m)_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

(6) 由评估 Agent 给出影响度的合理范围,协调 Agent 将影响度超标的 Agent 组织起来重新修改执行方案,以再次进行协商。

3 Agent 应用于多控制系统协调的优越性

在构建的 MAS 体系结构时,充分利用了 Agent 最重要的属性,包括了代理性中的自主能力、智能性中的反应能力及机动性中的通信与协调协作能力。Agent 的这些固有属性将使得 Agent 技术更适合于分布式电力系统网络环境下各控制系统智能体系结构的设计和实现。其优越性主要体现在以下几个方面。

(1) 灵活的协作模式

Agent 之间拥有的丰富的通信语言 (Agent Communication Language),能够满足 Agent 在分布式网络环境下的信息交互,克服了电力系统中因语言单调、标准不一而造成的信息交流的困难,有利于电力系

统中不同格式的数据库之间的数据交换;而且,本文提出的协调机制,保证了电力系统内各控制之间的信息交互与合作,这就彻底解决了电力系统存在的控制协调问题。

(2) 高度的主动性和较强的适应性

目前电力系统中的各对象都处于被动等待调用,无感知外部环境变化的能力,更不能根据变化作出相应调整以适应动态变化的环境。Agent 技术的引入,完全弥补了这方面的不足。在电力系统这样一个动态变化的环境下,它能够以自身的任务为导向,随时感知所处环境的变化并尽可能采用最佳方法来作出相应的调整,以适应动态变化的电力系统环境。

4 结束语

本文描述了智能 Agent 技术在电力系统控制中的应用,不仅阐述了 Agent 的基本概念和特征,还重点阐述了如何通过 MAS 系统来完成各控制系统之间的协调问题并构建了 MCS 的模型和它的智能体系结构。随着全国互联网的发展,电网将变得更加复杂,电网内部和电网之间的信息交流将变得更加必要和普遍。世界电网发展的主流目标是在各国建立一个汇集多种能源产生电能的、由智能电气设备互相支持的、具有柔性控制的并且满足市场变化交易原则的互联网。在这一远大目标的实现过程中,智能 Agent 技术在电力系统中的应用将有着更广阔的前景。

参考文献:

[1] 蒋建文,高锴,韩江洪,等(JIANG Jianwen, GAO E,

HAN Jianghong, et al). 一种多 Agent 系统框架的实现机制(An Implementing Mechanism of Multi-agent System Framework) [J]. 沈阳化工学院学报(Journal of Shenyang Institute of Chemical Technology), 2001, 15(4): 282-286.

[2] 林勇坚(LIN Yongjian). 一个基于 Multi-Agent 的外汇投资决策系统. (Foreign Exchange Investment Research and Consoling System Based on Multi-Agent System) [J]. 现代计算机(Modern Computer), 2002, (7): 15-19.

[3] 黄敏,佟振吉,朱永利,等(HUANG Min, TONG Zhenji, ZHU Yongli, et al). 基于多 Agent 的电厂级监控信息系统设计(Design of Multi-Agent Based Power Plant Supervisory Information System) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electrical Power Systems), 2003, 27(18): 65-68.

[4] 赵林度(ZHAO Lindu). 大型机电故障诊断技术(Fault Analysis Technology of Large Scale Machine) [M]. 北京:中国石化出版社(Beijing: Petrochemical Press of China), 2001.

[5] 唐平,杨宜民(TANG Ping, YANG Yimin). 可拓推理与多 Agent 之间的冲突消解问题(Extension Inference and Conflicts Solving Problem in Multi-Agent System) [J]. 计算机工程(Computer Engineering), 2002, 28(5): 118-119.

[6] Yin G, Chen T. A, et al. Cooperative Approach Based Multi-agent for Distributed CAD/CAM Systems [A]. Proc on Advanced Manufacturing Technology. Xi'an: 1999.

收稿日期: 2003-12-12; 修回日期: 2004-02-12

作者简介:

刘群英(1977-),女,硕士研究生,主要研究方向为高压直流输电、电力系统谐波等;E-mail: lqy1205@sohu.com

刘天琪(1962-),女,教授,主要研究方向为电力系统稳定与控制、高压直流输电和配电自动化等。

Intelligent structure of MAS-based control coordination of power system

LIU Qun-ying, LIU Tian-qi

(Electrical Information College, Sichuan University, Chendu 610064, China)

Abstract: With the automation of power system, the controllers designed to control electric equipment and control variables have been widely used in power system. Problems on finishing the information interchange among them and coordinating their actions are inevitable emerged for lowering the upgrading of equipment. Based on Agent technology, the intelligent structure is constructed and its application on control coordination problem is dwelt on.

Key words: Agent; MAS; MCS; coordination