

文章编号: 1001-0920(2003)03-0371-04

## 基于多 Agent 的智能控制-维护-管理系统的研究

傅 闯<sup>1</sup>, 叶鲁卿<sup>1</sup>, 刘永前<sup>1</sup>, 程远楚<sup>1,2</sup>

(1. 华中科技大学 水电与数字化工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 武汉大学 动力系, 湖北 武汉 430072)

**摘 要:** 为了实现生产过程自动化系统中控制、维护和技术管理 3 方面的集成, 将分布式人工智能中的多 Agent 系统技术引入智能控制-维护-管理系统(ICMMS)的建模中, 提出一种适用于底层生产过程自动化系统的 ICMMS 的多 Agent 模型, 分析了各个 Agent 的功能以及它们之间的协作关系。在 ICMMS 平台的研制中应用了该模型, 利用 Profibus-FMS 实现了 Agent 间的通信。实验结果显示了该模型的实用性和有效性。

**关键词:** ICMMS; Agent; 生产过程自动化; 水电机组; Profibus-FMS

**中图分类号:** TV734; TP13 **文献标识码:** A

## Intelligent control-maintenance-management system (ICMMS) based on multi-agent system

FU Chuang<sup>1</sup>, YE Lu-qing<sup>1</sup>, LIU Yong-qian<sup>1</sup>, CHENG Yuan-chu<sup>1,2</sup>

(1. Faculty of Hydropower and Digital Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Power Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** In order to realize the integration of control, maintenance and technical management of a process automation system, a MAS-based model for the ICMMS is presented. This model has a distributed and hierarchical structure, which meets the needs of the information and function integration of ICMMS for the whole automation system. The structures, functions and cooperation relationship of these agents are discussed. The function distribution and integration of ICMMS can be easily implemented due to the capability of autonomy and cooperation of the agents within this model. The proposed model is applied to an ICMMS platform for Hydroelectric Generating Unit (HGU), in which the inter-agent communications are realized through Profibus-FMS network. The test results show the rationality of this MAS-based model.

**Key words:** ICMMS; Agent; Process automation; Hydroelectric generating unit; Profibus-FMS

### 1 引 言

生产过程自动化系统中的控制、维护和技术管理子系统之间存在着内在集成要求, 智能控制-维护-管理系统(ICMMS)是一种生产过程自动化系统的信息与功能集成技术<sup>[1,2]</sup>。ICMMS 借助先进的计算机软硬件技术和信息技术, 通过信息和资源的共享、

功能的分布, 实现控制、维护和技术管理功能的集成, 以满足现代企业对性能、可靠性、经济性的综合要求<sup>[1,2]</sup>。现代生产过程的规模日益扩大, 复杂性和分布性迅速增加, 各部分的自动化水平也在不断提高, 即其分布自治的特征越来越明显。多 Agent 技术是一种建立在分布式结构基础上的智能集成方法,

收稿日期: 2001-12-03; 修回日期: 2002-03-01。

基金项目: 中国-欧盟合作项目(EIAM-HPE INCO DC961744, CENNET IST-2000-28739)。

作者简介: 傅闯(1973—), 男, 四川南部人, 博士生, 从事智能控制-维护-管理系统(ICMMS)及其在水电厂中的应用研究;

叶鲁卿(1935—), 男, 浙江宁波人, 教授, 博士生导师, 从事水电机组的智能控制与维护的研究。http://www.cnki.net

多 Agent 系统中各个 Agent 具有自治和协作能力,既能完成一定的子任务,也可与其他 Agent 合作完成给定的任务<sup>[3,4]</sup>。多 Agent 技术已得到广泛的研究和应用,文献[5,6]介绍了 Agent 在电力行业中的应用,[7,8]探讨了 Agent 在制造自动化系统建模和设计中的应用。

本文将分布式人工智能中的多 Agent 技术引入 ICMMS 的建模中,提出了一种适用于底层生产过程自动化系统的 ICMMS 的多 Agent 模型。该模型不仅体现了生产过程自动化系统分布自治的特征,而且通过 Agent 间、子系统间的协作使得整个生产过程自动化系统信息、功能的集成变得相对容易,从而使企业能够从整体上获得最大的经济效益。该建模方法在 ICMMS 平台中的应用显示了其实用性和有效性。

## 2 ICMMS 的多 Agent 模型

生产过程自动化系统可分为逻辑上或物理上分离的若干个子系统,每个子系统具有相对的独立性,能完成特定的功能,同时它本身便是一个包含控制、维护及技术管理功能的子系统。整个自动化系统的控制、维护和技术管理功能的集成是在各个子系统集成的基础上实现的。ICMMS 框架下的各个子系统包括:分布于生产现场的智能测控节点(智能检测装置 IM、智能执行器 IA 以及现地控制单元 LCU),实现控制、维护以及技术管理功能的若干上位机。

根据多 Agent 系统的思想<sup>[3,4]</sup>,各子系统智能测控节点以及完成上层控制、维护和技术管理功能的模块(软件或硬件)都可设计为独立的 Agent。它们通过现场总线、以太网或软件总线实现信息的传递来进行协作,实现各个子系统控制、维护和技术管理功能的集成。ICMMS 的多 Agent 模型由若干个现地监控 Agent、1 个监测与预测 Agent、1 个诊断与预诊断 Agent、1 个维护决策 Agent、1 个控制 Agent 和一个技术管理 Agent 组成(图 1)。每个 Agent 完成特定的功能,同时相互协作以实现该子系统控制、维护和技术管理功能的集成。箭头 1 表明了该多 Agent 模型与外部环境(生产过程)之间的关系;箭头 2~箭头 9 表明了该多 Agent 模型内部各 Agent 之间的协作关系;箭头 10 表示了该子系统与其他子系统之间的协作关系。

现地监控 Agent 采集现场信息并进行信号处理,在一些简单情形下,能够提取一些表征现地监控对象状态的特征量,并根据这些特征量对监控对象

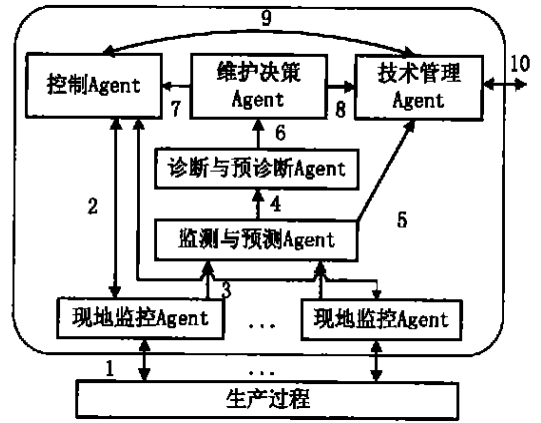


图 1 ICMMS 的多 Agent 模型

的状态进行判断,如果有异常发生则对监控对象进行控制以避免故障的进一步发展(箭头 1)。另外,现地监控 Agent 一方面将控制 Agent 需要的反馈信号报告给控制 Agent(箭头 2),另一方面根据自身的实际状态对控制 Agent 分配的控制任务进行响应,如果接受控制任务则对现地监控对象产生作用,如果拒绝则向控制 Agent 返回拒绝的理由(箭头 2)。现地监控 Agent 将感知的状态信息报告给监测与预测 Agent(箭头 3)。

监测与预测 Agent 实现对本子系统所有监控对象状态的监测与预测,它对来自现地监控 Agent 的状态信息作进一步的处理、综合,以全面把握监控对象的状态,并根据历史数据、对象模型、经验公式和一定的预测算法对过程或设备下一时段的状态进行预测。监测与预测的结果送给诊断与预诊断 Agent(箭头 4)和技术管理 Agent(箭头 5)。

诊断与预诊断 Agent 实现对故障(或降级)的诊断与预诊断,根据状态监测值、预测值与故障样本、特征量阈值的比较,确定是否已有故障发生、将要发生、发生的位置以及危害性。诊断与预诊断的结果信息报告给维护决策 Agent(箭头 6)。

维护决策 Agent 实现对本子系统内设备的维护决策。维护决策 Agent 根据诊断与预诊断 Agent 的结论确定是否需要设备进行维护,何时进行维护以及如何进行维护,并向技术管理 Agent 进行报告(箭头 8)。如果维护决策需要立即影响生产过程某些设备的行为,则对控制 Agent 发出控制任务请求(箭头 7)。

控制 Agent 对整个子对象中所有设备进行控制,控制任务主要来自技术管理 Agent(箭头 9),有时也可能来自维护决策 Agent(箭头 7)。控制 Agent

根据控制目标和现地监控单元报告的监控对象的实际状态,使用合适算法计算出各个控制量或对控制任务进行分解,并向各个现地监控 Agent 发出控制任务请求(箭头 2)。

技术管理 Agent 的功能包括两个方面: 1) 完成本子系统的技术管理功能; 2) 负责本子 ICMMS 与其它子 ICMMS 的协作以实现更大范围、更高层次的信息与功能集成(箭头 10)。技术管理 Agent 根据获得的状态监测与预测信息对本子系统进行性能评估,并根据性能评估的结果和维护决策 Agent 的维护请求对控制任务和维护活动进行优化管理。

### 3 ICMMS 的多 Agent 模型在 ICMMS 平台中的应用

ICMMS 平台以水轮发电机组作为对象,研究调速系统中的控制、维护和技术管理功能的集成。控制只考虑了调速功能;维护只针对调速器和电液伺服机构进行;技术管理只考虑对调速系统的性能评估、运行管理和对维护活动的管理。

#### 3.1 ICMMS 平台的结构

ICMMS 平台的结构如图 2 所示。现地监控 Agent1 与 Agent2 是频率测量单元,完成电网频率和机组频率的测量。Agent1 与 Agent2 对检测的数据进行存储和处理,为控制 Agent 提供高精度数字频率信号,同时它们还具有故障自诊断功能,能够对测频单元及其工作状态进行定期和不定期的检验、测试,及时发现故障,协助诊断发生故障的原因、位置,并将这些信息送给监测与预测 Agent。Agent1 与 Agent2 包括硬件与软件,以 80196 单片机为核心实现,提供符合 Profibus-FMS 协议的通信接口。

现地监控 Agent3/Agent4 根据检测的信号和知识库中的规则确定电液伺服机构的状态是否正常,能够对电液伺服机构的一些故障和降级(振动线

圈断线、零点漂移等)进行判断,并进行必要的处理。Agent3/Agent4 接受控制 Agent 的控制信号,并根据导叶/桨叶电液伺服机构的实际状态决定是否接受该控制命令。Agent3/Agent4 将电液伺服机构的状态信息送给状态监测与预测 Agent,将对控制命令的响应情况反馈给控制 Agent。Agent3 和 Agent4 以西门子 S7-300 为中心实现,Profibus-FMS 协议直接利用 SIEMENS 提供的 CP343-5 模块即可实现。

控制 Agent 完成常规水轮机调速器的功能,它根据机组运行要求利用 PID 或其他控制算法完成各种工况下导叶开度和桨叶开度的计算,并且向现地监控 Agent3 和 Agent4 发出请求。另外它 also 根据维护决策 Agent 和技术管理 Agent 的要求向 Agent3 和 Agent4 分配控制任务。控制 Agent 由一台工控机实现。

维护站中监测与预测 Agent、诊断与预诊断 Agent 和维护决策 Agent 组成实现对整个调速系统的维护工作;根据各个现地监控 Agent 的报告,监测与预测 Agent 能够对整个调速系统的状态进行综合分析和预测,并对调速系统可能发生的故障(降级)作出判断,并给出相应的维护措施。监测与预测、诊断与预诊断功能的实现应用了基于规则和神经网络等多种方法。维护站由一台工控机实现。

技术管理 Agent 根据监测与预测 Agent 的报告对整个调速系统的性能进行评估,同时根据控制 Agent 和维护决策 Agent 的报告对调速系统的运行和维护活动作出安排。技术管理站也由一台工控机实现。Agent 之间的消息传递机制以 FIPA 提出的 ACL<sup>[9]</sup> 为参考标准进行了定义。在现地监控 Agent1 和 Agent2 中,ACL 消息以 80C196 对汇编指令实现;在现地监控 Agent3 和 Agent4 中,ACL 消息以

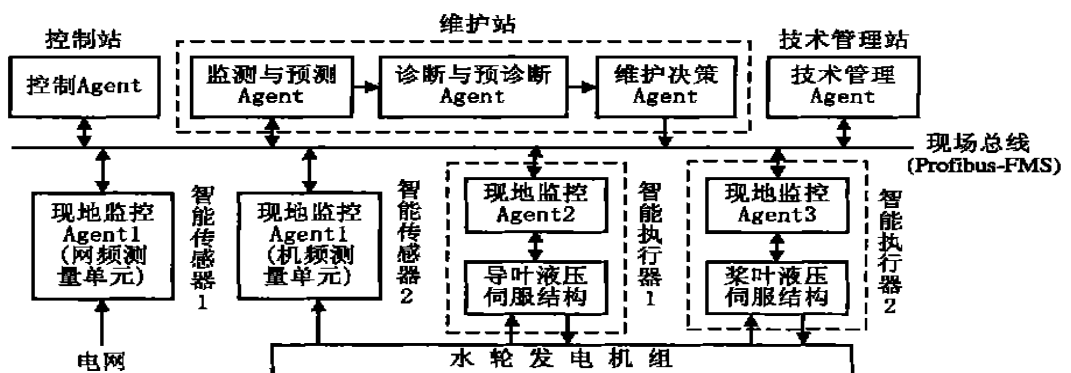


图 2 ICMMS 平台的结构

SIEMENS 的 S7 系列 PLC 的语句表指令实现,而在工业计算机中则以 C 语言实现,这些 ACL 消息都要根据 PROFIBUS-FMS 协议转化为网络变量进行传输。

### 3.2 实验与分析

在 ICMMS 平台对水轮机组进行了多种工况下的模拟实验,人为设置各种在常规机组测频环节和导叶/桨叶电液伺服机构易发生的故障,结果表明现地监控 Agent 能够对这些故障作出及时的反应,监测与预测 Agent 和诊断与预诊断 Agent 也能及时获得各个现场设备的状态并据此对设备的性能作出较准确的判断和预报。同时实验表明技术管理 Agent 能够实现对调速系统运行的优化管理,并且完成了对维护活动的管理。各个 Agent 进行协作,共同完成了控制、维护和技术管理功能的集成。

## 4 结 语

ICMMS 是生产过程自动化系统的发展方向,多 Agent 系统是一种建立在分布自治基础上的智能、功能集成方法,利用多 Agent 技术来实现生产过程自动化系统的控制、维护和技术管理功能的集成具有实际应用价值。本文提出了一种适用于底层自动化系统的控制、维护、技术管理功能集成的多 Agent 模型,利用该方法首先实现生产过程中各个子系统的控制、维护和技术管理功能的集成,进而通过各个子系统间的协作实现整个生产过程的控制、维护和技术管理功能的集成。该多 Agent 模型在 ICMMS 平台中的应用已初步显示其有效性和可行性。

### 参考文献(References):

[1] Ye Luqing, Li Zhaohui, Liu Yongqian, et al. Intelli-

gent control-maintenance-management system and its application on hydropower[A]. *Proc 2000 IFAC Management and Control of Production and Logistic Conf* [C]. UK: Elsevier Science, 2001. 2: 609-614.

[2] 傅闯,王生铁,叶鲁卿. 智能控制-维护-技术管理集成系统中的智能化问题[J]. *水电能源科学*, 1999, 17(1): 9-12.

(Fu Chuang, Wang Shengtie, Ye Luqing. The intelligent of an integrated intelligent control-maintenance-management system [J]. *Int J of Hydroelectric Energy*, 1999, 17(1): 9-12.)

[3] Wooldridge M J, Jennings N R. Intelligent agents: Theory and practice [J]. *Knowledge Engineering Review*, 1995, 10(2): 115-152.

[4] Vidal J M, Buhler P A, Huhns M N. Inside an agent [J]. *IEEE Internet Computing*, 2001, 5(1): 82-86.

[5] Eleni E M angina, Stephen D J McArthur, J R McDonald, et al. A multi-agent system for monitoring industrial gas turbine start-up sequences[J]. *IEEE Trans Power Systems*, 2001, 16(3): 396-401.

[6] Wang H F. Multi-agent co-ordination for the secondary voltage control in power-system contingencies[J]. *IEEE Proc- Generation, Transmission and Distribution*, 2001, 148(1): 61-66.

[7] Tapio Heikkilä, Martin Kollingbaum, Paul Valckenaers, et al. An agent architecture for manufacturing control: Manage [J]. *Computers in Industry*, 2001, 46(3): 315-331.

[8] Fischer Klaus. Agent-based design of holonic manufacturing systems [J]. *Robotics and Autonomous System*, 1999, 27(1): 3-13.

[9] FIPA. specifications[EB/OL]. <http://www.fipa.org/>. 2002. 10. 12.

(上接第 370 页)

[8] Rudolph G. Convergence properties of canonical genetic algorithms[J]. *IEEE Trans NN*, 1994, 5(1): 96-101.

[9] 陈明. 基于进化遗传算法的优化计算[J]. *软件学报*, 1998, 9(11): 876-879.

(Chen Ming. Optimization computing based on evolution genetic algorithm[J]. *J of Software*, 1998, 9(11): 876-879.)

[10] 王洪燕, 杨敬安. 并行遗传算法研究进展[J]. *计算机科学*, 1999, 26(6): 48-53.

(Wang Hongyan, Yang Jing an. The advance on research of parallel genetic algorithm[J]. *Computer Science*, 1999, 26(6): 48-53.)

[11] 蒙祖强, 陈振州, 郑金华. 基于共享存储器通信方式的并行遗传算法[J]. *计算机工程与应用*, 2000, 36(5): 72-74.

(Meng Zuqiang, Chen Zhenzhou, Zheng Jinhua. The parallel genetic algorithms based on the way of communication by shared memory[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2000, 36(5): 72-74.)