

基于多智能体的分布式智能诊断方法研究

蒋伟进^{1,3}, 许宇胜², 吴泉源³, 孙星明³

(1. 湖南工业大学计算机系, 湖南株洲 412008; 2. 北京工业大学计算机学院, 北京 100080;
3. 国防科技大学计算机学院, 湖南长沙 410073)

摘 要: 在传统智能诊断基础上, 将多 Agent 技术应用于动态、分布、实时和不确定的复杂系统故障诊断领域, 以求解复杂过程诊断问题. 提出了基于 MAS 的分布式智能故障诊断方法和过程; 讨论了基于模式聚类的故障求解机制及对诊断问题任务的辨识、分解; 研究了多 Agent 的约束和关联; 设计了应用 Agent 工作状态的表达机制; 确定了应用 Agent 间的工作状态影响关系及多 Agent 间的交互、协作和通讯; 构建了多 Agent 模糊关联模型; 给出了多 Agent 诊断系统局部诊断决策与全局诊断决策的集成描述结构; 实现了一种分布式 Agent 诊断系统结构及其原型系统. 工程应用表明, 该系统能快速、准确地进行故障成因分析, 并给出有效的决策意见, 取得了与专家相似的诊断结果.

关键词: 智能故障诊断; 多 Agent 系统 (MAS); 任务分解; 协作控制

中图分类号: TP277 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 12A-235-03

Study of MAS-Based Distribute Intelligence Malfunction Diagnosis Method and Application

JIANG Wei jin^{1,3}, XU Yu sheng², WU Quarry yuan³, SUN Xing ming¹

(1. Department of computer, Hunan University of Industry, Zhuzhou, Hunan 412008, China;
2. School of Mechanical Engineering & Applied Electronics, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China;
3. School of Computer, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract: Based on distributed artificial intelligence, the paper put forward MAS based distributed intelligent malfunction diagnosis method and process, and discussed pattern clustering based malfunction solution finding mechanism and the identification and decomposing of a diagnosis task. It also studied the restriction and relationship of multi-agent in the macroscopic sense, and designed the expression mechanism for applied agent's work status. Else it ascertained the influence and the communication and the interaction among applied agents, and constructed a multi-agent fuzzy related model. The last aspect is that the paper presented an integrated descriptive structure of local diagnosis decision and global diagnosis decision, and established a distributed agent diagnosis system structure and its prototype model system too. Diagnosis system can be divided into applied agent and service agent, using distributed communication mechanism to realize intercommunication of information, realize distributed system's information exchange and diagnosis, and enhance system's efficiency, security and error standing for problem-dealing. When the model was applied in the power enterprise's security monitor system the result was similar to expert system, and the model overcame many deficiencies of previous monitor diagnosis system, enhanced the efficiency of the enterprise security running.

Key words: intelligence malfunction diagnosis; multi agent system (MAS); task decompose; cooperation control

1 引言

设备故障诊断过程是一个系统识别过程, 它是一个从信号到状态的映射, 人们通过对故障诊断对象的监控, 能正确地检测出该设备的相应的特征信号, 由此推测出该设备的状态, 辨别设备的运行是否正常, 或某种功能失调的原因及性质, 预测不正常状态发展趋势及潜在的故障. 随着设备的大型化、复杂化及非常规性, 原有传统的故障诊断系统已不适应. 而智能故障诊断系统能模仿人类专家在进行故障诊断时思维逻辑过程: 包括观察、推断、分析和对策. 它具有开放性、分布性、实时性及资源可公用等特点. 这些特点相互联系, 提高了分布系统的效率, 同时降低了系统建立和维护的费用. 本文将多 Agent

^[1~3] 技术引入复杂故障诊断领域, 研究基于 MAS 的分布式故障智能诊断模型和方法, 实现了分布式人工智能技术和多学科知识的结合与发展, 使智能故障诊断系统能够适应动态的复杂环境.

2 Agent 能力结构描述

关于 Agent 的定义, 不同的研究者随其所侧重的方面而有不同的内涵, 由不同定义所衍生的 Agent 涵盖有诸多特性, 在应用时往往针对具体的问题, 从实际需要出发, 确定 Agent 所应包容的特性及其结构. 最著名的、最有影响力的 Agent 结构是信念愿望意图 (Belief Desire Intention, BDI) 模型^[4]. BDI 通过 3 个方面 (信念、愿望和意图) 来刻画 Agent 的特性, 事件条

件动作(ECA)规则^[5]被广泛应用到主动数据库中,可以表达复杂的规则.本文利用ECA规则建立了基于ECA规则的活动描述,设计了E-Agent的BDI心智模型^[5,6].

定义1 Agent = $\langle B, G, P, A, RunAgent(E, I, \lambda, \mu, \nu) \rangle$, 其中: B 为信念的集合; G 为目标的集合; P 为规则的集合; A 为原子动作的集合; $RunAgent$ 描述Agent动作时的结构及其运行状态; E 为事件的集合; I 为意图的集合; λ 表示事件选择函数,从事件集合(Events)中选择一个目前需要处理的事件; μ 为规划选择函数,表示从Agent的规划库中选择一个合适的规划来对应需要处理的事件; ν 为意图选择函数,从意图集合中选择一个意图去实现^[7].

定义2 如果 b 是信念,是目标,则 $+b, -b, +g, -g$ 都是触发事件. Agent 的运行过程就是观察环境,根据观察的结果和它本身的目标选择相应的规划,执行相应的动作.而这些动作又会作用于环境,修改环境的状态和Agent自身的状态.

定义3 原子活动是Agent不需要经过规划就可以直接执行的活动,Action是活动集合,它是由一些原子活动组成的集合.

定义4 如果 e 是一个事件, b_1, b_2, \dots, b_m 是信念,并且 R_a 是活动描述方案,则 $e_1: b_1 \wedge b_2, \dots, \wedge b_m \rightarrow R_a$ 就是一个规划.

箭头的左边叫做规划头,表示规划执行的前提条件,该前提条件触发事件 e_1 发生,同时信念 b_1, b_2, \dots, b_m 为真.箭头右边是活动描述方案,表示当前提条件满足Agent执行的动作序列.采用基于ECA规则的活动描述方案来表示执行活动的序列,可以描述非常复杂的执行过程,而且,由于采用了ECA规则,使得可视化开发Agent成为可能^[8].

集合 I 是意图的集合,意图是实例化的规划,意图是规范和描述Agent的一个重要抽象认知概念,作用是引导并监督Agent的动作,并在抽象层次上反应Agent的规则行为.

3 多Agent诊断系统模型

故障诊断模型是对所研究的故障诊断对象本质特性的描述,诊断系统的性能直接取决于采用的诊断模型和方法.智能集成故障诊断模型研究是以复杂过程为对象,充分运用智能化方法的优势,从而有效地描述生产过程中故障之间的复杂关系.本模型系统包括数据采集子系统、诊断任务分解子系统、任务控制子系统、诊断Agent子系统以及用户接口子系统^[9],如图1所示.

数据采集子系统利用传感器和A/D数据采集卡,采集诊断对象的状态数据并存储在数据库中,供诊断Agent子系统读取.诊断Agent子系统实现各种具体的分析和诊断算法,包含FFT Agent、小波分析Agent、时序模型Agent等分析方法以及神经网络Agent、遗传算法Agent、专家系统Agent等智能诊断模型.诊断任务分解子系统将诊断对象的全局诊断任务按其功能和结构有效地分解为局部的诊断子任务,形成诊断任务集.任务控制子系统负责诊断任务的分配、调度以及控制,诊断Agent子系统接受任务控制子系统的诊断请求,根据诊断请求从数据库读取相应诊断对象的状态数据,应用合适的分析诊断方法完成相应的诊断子任务,并将诊断结果返回给任务控制子系统.用户接口子系统提供人机交互界面,将用户

的诊断任务及其分解与控制策略输入系统,并将系统的诊断结果反馈给用户,供用户参考,以便辅助用户做出最终决策.



图1 智能故障诊断多Agent系统模型结构

Agent Name Service(ANS)是所有Agent进行信息交换的 centrality, 它由 Router 和 Facilitator 组成. Router 的作用是负责 Agent 间消息的发送,把消息准确地发送到目的 Agent. Facilitator 主要负责解释 Agent 间的消息. Agent 在工作前要注册到 ANS, 然后通过 ANS 与其他 Agent 进行通讯. 同时, ANS 支持 Agent 的动态加入、动态地址改变. 在消息处理机制方面, ANS 可采用消息队列方式,把消息存入文件或数据库,保证消息的成功发送和系统的鲁棒性. 如果系统的规模很大,可以采用多 ANS 的方式确保系统的性能. 这种 ANS 设计的优点在于: (1) Agent 不需要记住其他 Agent 的实际地址; (2) 系统的复杂行为易于控制; (3) 适合于企业 Intranet 环境.

4 分布式任务求解与控制

在故障诊断领域应用多Agent系统理论设计构建分布式智能诊断多Agent系统,其关键是诊断任务的合理分解与控制,及诊断Agent之间的合作与协调问题.对应用领域问题进行分布任务分解,是应用领域问题分布式智能求解的第一步,也是关键的、决定系统有效性的一步.应用领域的分布式任务分解主要有四种方法: (1) 根据应用系统空间分布规律的分解方法; (2) 基于应用系统子系统功能的分解方法; (3) 根据系统输入类型的分解方法; (4) 根据系统输出类型的分解方法.

诊断对象的结构和故障的复杂程度决定着诊断领域问题的复杂程度.因此,与其它的应用领域不同,设备故障诊断领域问题的分布式任务分解必须根据诊断对象的结构、故障特点进行分解.结构分解是从结构组成上对诊断对象进行分解,把诊断对象的总体结构分解为下一层次的子结构,这一分解直到最低层次的基本零部件.故障分解是根据诊断对象的故障类型进行分解,下层子故障总是上层父故障的特例,上层父故障则是下层子故障的概括,这种分解可以到最具体的故障.

5 用CBR实现多Agent的协调

为了提高系统诊断效率,我们采用CBR技术来实现多Agent系统的协调.基于事例的推理(Case Based Reasoning,简称CBR)源于认知科学中记忆在人类推理活动中所扮演的角色,目前CBR已成为人工智能的一种推理技术.CBR是基于如下两条原则: (1) 现实世界是有规律的,相似的问题有相似的解决办法; (2) 同类的问题会再发生.在所有基于Agent的技术中,推理机是实现Agent功能的关键,在系统中,采用CBR

技术实现 Agent 内部的推理,并且利用推理的结果作为 Agent 之间协调的依据。采用 CBR 技术是源于两个考虑,一是它本身就是一种推理技术;二是它满足故障诊断系统的工作要求,即故障是有规律的,而且会重复发生。为了利用 CBR 技术,在系统中用数字表示诊断过程,如故障源是用传感器的编号来表示的,诊断算法也是以数字编号来标识,即事例中的关键字都是数值。如果发生一次故障时,1、3、4 号传感器的数值为异常,且该次诊断中 2 号诊断算法(如神经网络算法)的诊断结果是最优的,那么这个事例的表示就为 13402(其中 0 为故障表示与算法标识的分割符号),这个事例代表了一次诊断过程。在 MAFDS 中,各个 Agent 中事例库的内容是不同的,在任务分配 Agent 的事例库中存储的是全部各个功能 Agent 所做的成功诊断,而没有非最优的诊断过程。而在各个功能 Agent 中,事例库中保存的是各自不成功的事例。这样做的目的是提高诊断的效率,减少任务分配 Agent 的负担。一次诊断过程中,在接收到一个新故障信号时,任务分配 Agent 首先检索自己的事例库,如找到匹配的事例,就直接调用那个最优的功能 Agent 执行诊断;如没有找到,就向各个功能 Agent 发出信息,各功能 Agent 根据信息中包含的事例查找自己的事例库,并根据最近相邻策略返回一个相似度,如相似度超过设立的阈值,就说明该 Agent 以前对相似的情况进行过诊断但不成功,功能 Agent 就会向任务分配 Agent 发出拒绝原语,否则发出接受原语,接受任务分配 Agent 的调用。

当传感器将诊断对象的状态参数上传到任务分解 Agent 后,将这些参数与设定好的标准值进行比较,当参数值在正常值范围内时就认为设备运转正常,丢弃这组参数,等待下一组参数的到来;如参数值超过正常值,就判定为故障。任务分解 Agent 开始的事例库中查找,如果找到了目标事例,则直接调用该 Agent 的诊断算法得出诊断结果;没有找到目标事例,就由任务分解 Agent 发出请求信息,各功能 Agent 根据自身的事例库的查找情况计算相似度并与阈值相比较来决定是否接受调用,任务分配 Agent 根据各功能 Agent 的回复信息调用功能 Agent 的诊断算法,得出诊断结果并传送到人机交互 Agent,等待人机交互 Agent 的反馈信息。人机交互 Agent 将结果显示给用户,用户根据显示的结果进行故障处理,然后对显示的结果进行评价。人机交互 Agent 将用户的评价反馈到执行任务的功能 Agent 和任务分解 Agent,任务分配 Agent 根据用户的反馈情况将正确的或比较正确的保存到事例库中,同时丢弃不正确的,而各个功能 Agent 则保存各自诊断不成功的事例。至此,一次诊断结束,同时,一个事例也建立完成,也就是将一种故障情况和某个 Agent 建立了联系。通过这样一个过程,既达到诊断的目的,同时也完成了诊断事例的建立,完成了在线学习的目的。随着诊断次数的增加,事例的数目也极大丰富,故障情况和具体 Agent 之间的联系会逐步加强。当再次进行诊断时,则可以直接利用该事例用任务指派的方式而不需要向各个 Agent 发信息。通过直接调用诊断算法,将会达到提高诊断速度,节省计算机资源的目的。

6 应用和结论

本文在传统智能诊断系统的基础上,结合 Agent 技术,提

出了一种基于多 Agent 系统的分布式智能诊断决策模型,在一个电力安全监控决策支持系统中,我们开发了基于多 Agent 的智能监控与诊断系统。系统主要由通讯接口 Agent、数据获取 Agent、故障感知 Agent、故障诊断 Agent、决策形成 Agent、界面 Agent 和 JATLite Agent 信息路由器等多个 Agent 系统构成。在线实时数据由数据采集与监控系统提供;故障诊断 Agent 的知识库建立和维护采用了 C++ Builder 开发平台,把领域专家的知识转化为符号表示,存入知识库中。知识库当中保存认知对象的信息以及它们之间的关系。Agent 可以通过访问私有的或者共有的知识库来获取所需要的知识,从而做出决策判断。

应用中,该模型能快速、准确地进行故障成因分析,给出合理的、建设性的决策意见,取得了与专家相似的诊断结果。克服了变电站以往诊断决策系统的很多不足,较好地实现了对变电站各种仪器设备的监控,提高了变电站的安全运行效率。

参考文献:

- [1] Bui T, Lee J. An agent-based framework for building decision support systems[J]. Decision Support System, 1999, 25: 225-237.
- [2] Sulin B. Enterprise decision support using Intranet technology[J]. Decision support systems, 2002, 20: 99-134.
- [3] Guessoum Z, Jear Pierre. From active objects to autonomous agents[J]. IEEE Concurrency, 1999, 7(3): 68-75.
- [4] Liu Guiquan. A formal model of multi-agent cooperative systems[J]. Journal of Computer, 2001, 24(5): 529-535.
- [5] Jiang Weijin. Research and implementation of distributed MSP algorithm based on GA & MAS[J]. Computer Science, 2002, 29(9): 443-447.
- [6] Wooldridge M J. Agent-based software engineering[J]. IEEE Trans on Software Engineering, 1997, 144(1): 26-27.
- [7] Wooldridge M J, Jennings N R. Intelligent agents: Theory and practice[J]. Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2): 115-152.
- [8] Aresha K A, Ozcan F, Ross R. Impact: A platform for collaborating agents[J]. IEEE Intelligent Systems, 1999, 14(2): 64-72.
- [9] Jiang Weijin. Modeling and application of complex diagnosis distributed intelligence based on MAS[J]. Journal of Nanjing University(Natural Science), 2004, 40(4): 1-14.
- [10] Jiang Weijin. Research key technologies of virtual enterprise and dynamic modeling based on MA & BP[J]. Information and Control, 2002, 31(4): 329-335.

作者简介:



蒋伟进 男,1964年8月出生于湖南省桃江县,副教授,高级工程师,硕士,主要从事计算智能及软件理论研究。E-mail: jwj3666@163.com.

许宇胜 男,1976年10月出生于湖南省株洲市,硕士,主要从事智能故障诊断研究。