

多 agent 集成方法在复杂系统故障预报中的应用 *

宋 军¹ 黄大荣² 许 强¹

(重庆交通大学计算机学院 重庆 400074)¹ (重庆交通大学理学院 重庆 400074)²

摘要 基于普适性角度,从单个 agent 系统出发,结合计算机网络结构,研究了多 agent 集成方法在复杂系统故障预报中的理论规则。首先,对多 agent 集成系统的各子 agent 预测模块进行赋值,并给出相应的信任程度;然后,计算决策 agent 的预测值,判断系统“异常”与否。同时,给出多 agent 集成系统的工作机理,并设计出多 agent 集成系统的网络模型;最后,仿真试验验证了该方法的有效性和合理性。分析研究表明,多 agent 集成方法在复杂系统的故障预报中有广阔的应用前景。

关键词 复杂系统,故障预报,多 agent 集成方法

Application of Multi-agent Integration to Fault Prediction of Complicated Systems

SONG Jun¹ HUANG Da-Rong² XU Qiang¹

(College of Computer Science, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074)¹

(College of Mathematic and Information, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074)²

Abstract Based on popularization and universal, the theoretical regulation of Multi-agent integration to Fault prediction of complicated systems is researched by combined unitary-agent system and computer network structure. First of all, the forecast values on the sub-agent system of agent-integration system are evaluated, and the confidence level is given correspondingly; secondly, it has given the running principium of Multi-agent integration systems and designed the structure of the Multi-agent network; finally, a simulated example has shown that the technique is effectively and exactly. The theoretical analysis indicates that the presented algorithm has a broad prospect for practical application.

Keywords Complicated system, Fault predict, Multi-agent integration

随着现代工业技术的飞速发展,生产设备日趋复杂,为避免因设备故障造成巨大损失,对复杂系统的故障及其发展趋势进行早期预测和分析具有重要意义。agent 是一个具有信念、目标、意图等认知属性和规划、协商、交互等行为特性的自主计算实体,可随着环境变化修改自己的目标、学习知识,并进行高级问题求解,可用于分析、描述和实现复杂、庞大的动态系统^[1],在复杂系统的故障检测中具有广阔的应用前景。

近年来,许多学者对 agent 技术在复杂系统故障检测中的应用进行了研究。文[2,3]将 agent 技术与人工免疫系统相结合,提出了一种免疫 agent 形式化网络模型和免疫 agent 算法,并讨论了作为主体的人在协同机制中的作用,但缺乏实际工程应用方面的研究;文[4,5]针对复杂设备的维修保障工作,应用 agent 技术对故障的预测模型和规则进行了理论分析,提出了多 agent 并行预测理论框架,形成了较成熟的体系,但其主要针对提高部队装备的有效性,对于实际工业系统并不一定可取;为克服这一问题,文[6]分析了移动 agent 系统的安全威胁,比较了几种典型移动 agent 系统的安全机制,总结了目前主要的安全保障措施,由于这些 agent 预测模型仅从某个方面考虑系统的可行性,无法满足不同 agent 的安全实现要求,因此需要有选择地对各种安全机制进行高效配置。

本文基于普适性的角度,从单个 agent 系统出发,结合计算机网络结构,研究了多 agent 集成方法在复杂系统故障预报中的理论规则,得到了较好的框架结构。

1 复杂系统故障状态的 agent 可测特性

保持运行稳定性是保证复杂系统顺利进行决策的最基本条件,在复杂系统运行过程中,需对其是否会发生故障进行预测,并实施有效的实时在线控制,以不断修正系统隐患,使系统始终有效地运行。

目前,通常采用定性推理的弱方法或定量推理的强方法对系统故障进行预测及诊断。强方法求解精确,但建模困难,弱方法又缺少精确性。复杂系统是由一系列功能各异的单一子系统组成,各部分之间相互联系,要对其进行准确的故障预测需将上述两种方法有机地结合起来,二者缺一不可。

agent 是人工智能理论、面向对象技术及计算机科学相互融合的产物,早期是人工智能理论的一个概念,现已发展成为一种流行的产品设计与系统集成的工程方法论。agent 技术将强方法和弱方法归于统一的并行推理框架中,为复杂系统的故障预测提供了一种新的计算和问题求解规范。

单个 agent 预测模块存在着独立求解能力有限、不能同时考虑问题的所有因素以及知识库不完备等缺陷,因此可从单个 agent 出发,结合计算机网络结构,集成多个 agent 实现对复杂系统的故障预报。基于多 agent 的系统提供一种分布式处理方法,放松了对集中式规划和顺序控制的限制,提供分解控制、冲突控制和并行控制,且可以降低软、硬件费用,提供更快速的问题求解规范^[4],弥补了强、弱方法对复杂系统故障

* 基金项目:国家自然科学基金主任基金项目(60443006),重庆市教委科技计划项目(KJ060414),重庆交通学院自然科学基金项目(2004206),重庆交通学院青年科研基金项目(2004-08)。宋 军 博士,副教授,研究领域:宽带网络技术、无线通信技术及人工智能等;黄大荣 博士生,讲师,研究方向:随机控制理论、信息融合理论及故障预测研究等;许 强 硕士,讲师,研究领域:智能信息处理。

预测的不足,同时也显示了复杂系统故障状态的 agent 可测特性。

2 基于多 agent 集成方法的故障预测模型及算法分析

2.1 模型参数结构的算法分析

假定复杂系统的同一个故障存在 n 个 agent 预测模块,用向量 $\{agent_1, agent_2, \dots, agent_n\}$ 表示。工程技术人员对每一个 agent 预测模块的信任度,记为 w 。各个预测模块对复杂系统同一故障的综合评判结果称为决策 agent。

为简化表示,首先对 n 个 agent 预测模块的量化指标进行赋值:

$$agent_1 \rightarrow f_1, agent_2 \rightarrow f_2, \dots, agent_n \rightarrow f_n$$

然后,确定每个 agent 预测模块的信任度:

$$w_1, w_2, \dots, w_n, \text{且} \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

最后,可以得到该复杂系统故障的决策 agent 的预测值为:

$$D-agent = \bar{f} = \sum_{i=1}^n w_i f_i \quad (1)$$

显然,故障发生之前,其相应的 agent 状态观测值在系统中会发生异常变化,知识库中相应的故障值 f 和决策 agent 的预测值 \bar{f} 之间会存在差异,本文将这个误差 $\nabla = |f - \bar{f}|$ 作为复杂系统故障预测分析的量化指标。

由于故障状态提前在系统运行过程中得到体现,根据 agent 集成方法的理论规则,为准确预测故障发生与否,可以对故障点状态设置一个误差容许值 ϵ ,一旦计算得到的误差 ∇ 低于估计值,就认定系统发生异常现象,需要修正 agent 模块,从而保证了系统正常运行,避免故障发生后造成的巨大损失。

2.2 agent 信任度和误差容许值的确定方法

上述分析表明,确定系统故障状态点的 agent 模块信任度和误差容许值知识库是利用多 agent 集成方法进行复杂系统故障预测需研究的关键问题。本节将讨论故障预测系统中故障点状态 agent 误差容许值的确定方法。

在复杂系统运行过程中,若某一时刻系统发生故障,领域专家和技术人员可以通过视觉、听觉、嗅觉或测量设备得到一些客观事实,并根据对系统结构和故障历史的深刻了解,迅速做出判断并确定故障点的状态情况^[7]。因此,本文采取专家系统的加权方法来确定 agent 模块信任度和误差容许值,即指定误差的约束控制条件和各个子 agent 模块的信任程度。

为系统故障点的状态寻求 n 个领域专家和技术人员,对 n 个 agent 预测模块给出自己的信任程度,并对可能出现故障的状态点的误差容许值进行估计,得到如下关系矩阵 σ :

$$\sigma = \begin{pmatrix} \epsilon & w_1 & \dots & w_n \\ \epsilon_1 & w_{11} & \dots & w_{1n} \\ \epsilon_2 & w_{21} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \epsilon_n & w_{n1} & \dots & w_{nn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

故障点的 agent 误差容许值可以根据如下加权方法得到:

$$w_i = \sum_{j=1}^n \sigma_j \omega_{ji}, i=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\epsilon = \sum_{j=1}^n \sigma_j \epsilon_j$$

其中, $\sum_{j=1}^n \sigma_j = 1, \sigma_j$ 由对第 j 个专家的信赖度确定。

根据公式(2)和(3)可得到故障点的子 agent 模块信任度和误差容许值知识库,为故障预测准备了基础条件。同时,管理 agent 知识库采用专家系统的加权方法进行计算,保证了预报结果的公正性。

2.3 多 agent 集成系统的算法设计和网络拓扑构造

针对复杂系统故障预报的多 agent 集成方法的工作机理如下:

1)系统初始化:根据以往经验和专家知识建立子 agent 预测模块,并设立本地开放数据库 $\{agent_1, agent_2, \dots, agent_n, f\}$ 。

2)专家系统调研:为复杂系统的故障状态点寻求 n 个领域专家和专业技术人员,对系统故障状态的各个子 agent 预测模块进行信任度评判,同时对决策 agent 误差容许值进行估计,得到关系矩阵 σ ,并利用公式(3)得到故障状态的 agent 误差容许值 ϵ 和各自 agent 模块的信任度 $w_i, i=1, 2, \dots, n$,预存到计算机程序中进行管理。

3)接受来自于各个子 agent 预测模块的初始数据矩阵 $\{agent_1, agent_2, \dots, agent_n\}$,并对其赋值:

$$agent_1 \rightarrow f_1, agent_2 \rightarrow f_2, \dots, agent_n \rightarrow f_n$$

利用公式(1)计算该复杂系统故障决策 agent 的预测值 \bar{f} ,输入到下一步。

4)接受决策 agent 的预测值 \bar{f} ,调用知识库管理中故障状态值 f ,计算它们之间存在的误差 $\nabla = |f - \bar{f}|$,并从计算机程序中调用故障点的状态 agent 误差容许值 ϵ ,比较 ∇ 与知识库中 ϵ 的大小,如果 $\nabla < \epsilon$ 不成立,返回第 1)步;否则,进入下一步。

5)如果 $\nabla < \epsilon$,则说明该复杂系统发生异常,修正 agent 参数,然后返回到第 1)步。

6)输出结果,得到故障预测的分析报告。

相应的多 agent 集成系统的网络拓扑模型如图 1 所示。

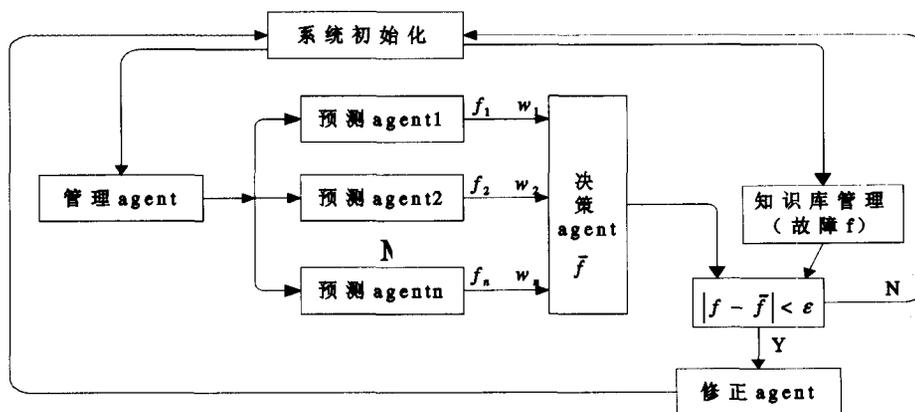


图 1 多 agent 集成系统的网络模型

多 agent 集成算法由多个实现不同功能的 agent 组合起来协调工作,全部 agent 构成了一个团体联邦,综合不同推理

机制的优势,具有很强的灵活性、鲁棒性和局部更新能力。此外,多 agent 集成系统是闭环控制系统,在工程应用中能有效地进行实时在线控制,不断修正系统隐患,使系统始终有效地运行,使系统的运行状态能达到相应的稳定性和鲁棒性要求。因此,多 agent 集成系统是一种适用于不确定性环境的自组织、自学习系统。

3 实证分析

本文将所设计的多 agent 集成系统应用到电力设备励磁装置系统的故障预报中,不断地对子 agent 预测模块进行赋值训练,训练的周期设为 1000 秒,该系统的整体运行情况如曲线图 2 所示。

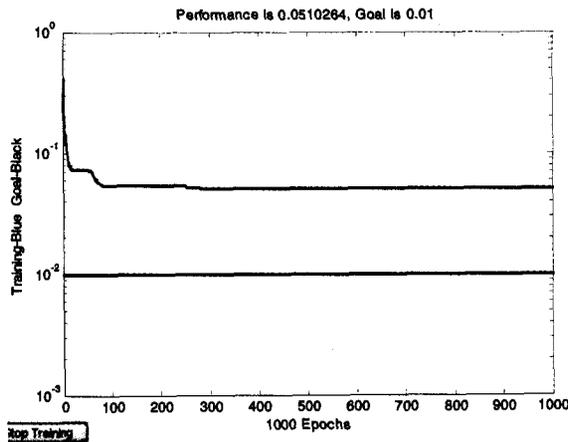


图 2 励磁系统整体运行性能示意图

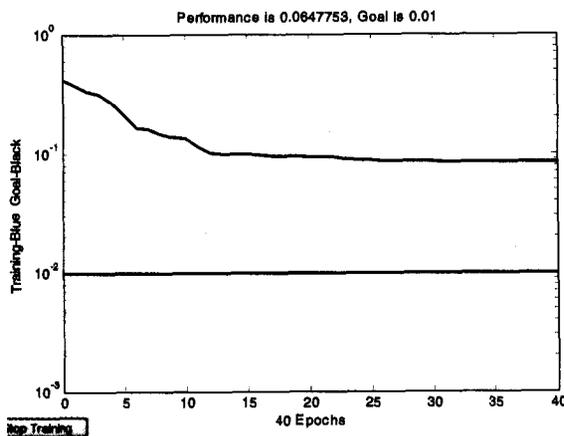


图 3 励磁系统部分运行性能示意图

从系统运行情况看,所设计的安全报警系统分别在第 20、60 和 249 秒左右发生了异常现象,每次经 agent 修正后均可“正常”运行一段时间,这说明系统要达到目标必须不断地修正。

从图 2 看,系统安全报警的异常现象似乎变化不大,实际上在报警期间的运行情况非常不稳定。0 到 40 秒的系统运行详细情况如图 3 所示,从中可看出,系统的内部变化非常剧烈,这与实际情况相吻合,同时由于报警开始到系统“正常”运行之间存在缓冲带,满足了 agent 智能修正所需的时间要求。

上述实证分析表明,多 agent 集成系统故障预报技术在复杂系统的故障预报中的应用是有效的。

结论 本文提出了一种基于多 agent 集成方法的复杂系统故障预报技术,并将其应用到实际工程中。实践表明,这种故障预报技术方法是有效的,可实现智能故障预报。各预测 agent 之间是一种宏观层次上的高内聚松耦合结构,解决了单一 agent 不能同时考虑各方面因素的缺点,使复杂系统内部结构的信息交换成为可能,具有良好的开放性和自适应性。

人作为人工智能系统的使用者,必然对系统产生影响,如何来协调复杂系统故障预报中信息资源的合理分配,是需要进一步深入研究的课题,这也将是笔者下一步研究的重点。

参考文献

- Jennings N R, Sycar K, Wooldridge M. A roadmap of agent research and development [J]. *Auton Agents & Multi-agent syst*, 1998,1:7~38
- 马笑潇,黄席樾,柴毅,等. 免疫 agent 概念与模型[J]. *控制与决策*, 2002,17(4): 509~512
- 黄席樾,刘卫红,马笑潇,等. 基于 agent 的人机协同机制与人的作用[J]. *重庆大学学报*, 2003,23(9): 32~35
- 曹立军,杜秀菊,秦俊奇,等. 复杂装备的故障预测技术[J]. *飞航导弹*, 2004(4): 24~27
- 杨天社,杨开忠,李怀祖. 基于知识的卫星故障诊断与预测方法[J]. *中国工程科学*, 2003,15(6): 63~67
- 张阳,曹迎春,黄皓,等. 移动 Agent 系统中的安全问题和技术研究综述[J]. *计算机科学*, 2005,32(3): 21~25
- 胡昌华,许华龙. 控制系统故障诊断与容错控制的分析和设计[M]. 国防工业出版社, 2000

(上接第 147 页)

- Soubbotin M, Soubbotin S. Use of Patterns for detection of Likely Answer Strings: A Systematic Approach Answer. In: *Proceedings of TREC-2002*, 2002. 175~182
- 许龙飞,杨晓鸣,唐世渭. 基于受限汉语的数据库自然语言接口技术研究. *软件学报*, 2002,13(4): 537~544
- Dkaki T, Mothe J. Combining Positive and Negative Query Feedback in Passage Retrieval. In: *Proceedings of RIAO' 2004*, 2004. 661~672
- Deerwester S, Dumais S T, Furnas G W, et al. Indexing by latent semantic analysis. *JASIS*, 1990,41(6): 391~407
- Crestani F. Exploiting the Similarity of Non-matching Terms at Retrieval Time. *Information Retrieval*, 2000, 2(1): 27~47

- Voorhees E. Query Expansion Using Lexical-Semantic Relations. In: *Proceedings of 17th ACM-SIGIR*, Dublin, Ireland, 1994. 61~69
- 张琪玉. 关于自然语言检索问题. *图书馆论坛*, 2004, 24(6): 211~213
- Meng H, Siu K. Semiautomatic Acquisition of Semantic Structure for Understanding Domain Specific Natural Language Queries. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 2002,14(1): 172~181
- Yin L. Topic Analysis and Answering Procedural Questions: [Technical Reports]. ITRI-04-14. Univ of Brighton, 2004
- Sowa J. Knowledge Representation Logic, Philosophical, and Computational Foundations. Brooks/ Cole, 2000