

# 面向制造企业的智能企业诊断系统

胡 春, 李 平, 王 慧

(浙江大学 工业控制技术国家重点实验室, 浙江 杭州, 310027)

**摘要:** 概述了企业诊断系统的研究现状, 分析了其与企业信息系统研究相孤立所带来的问题. 为适应现代制造企业管理的需求, 提出基于数据仓库的智能企业诊断系统. 智能企业诊断系统由查询与跟踪、问题识别和指标评价、模糊 Petri 网推理、诊断过程概要解释、问题解决支持、人机界面等 6 个主要模块构成. 为了更好地处理企业诊断知识的模糊性、整体性和复杂性, 通过扩展模糊 Petri 网系统实现企业诊断的知识建模和推理. 功能模型描述了系统各模块的主要功能及其与数据仓库系统间的集成方式. 此外, 讨论了模糊 Petri 网诊断推理、与数据仓库系统的集成、知识提取和数据挖掘等系统实现的关键技术和方法. 通过智能企业诊断系统、数据仓库系统和 OLAP 三者的有机集成, 提供一个有效的企业诊断集成环境, 使管理者能够更好地解决经营管理中存在的问题, 充分发挥制造企业潜力, 使企业健康发展.

**关键词:** 诊断系统; 企业诊断; 模糊推理; 数据仓库; 模糊 Petri 网

**中图分类号:** F270.7      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1005-9792(2003)04-0436-04

目前, 企业应用的 ERP 和 DSS 等信息系统提供的功能, 常局限于“发现问题—分析问题—解决问题”的后 2 个阶段, 即以问题已经明确为前提. 但企业是一个复杂的经济实体, 其存在的问题隐藏于动态的企业活动和大量的数据中, 要进行企业诊断就需要对大量数据进行高度综合和分析判断, 因而, 需研究面向制造企业的智能企业诊断系统 IEDS (Intelligent Enterprise Diagnosis System).

## 1 企业诊断系统研究概况

目前, 许多制造企业底层建立了 DCS 和 PLC 等自动控制系统, 业务层也通过实施的 ERP 等信息系统实现对各种企业活动的支持. 但除了故障诊断外, 企业信息系统缺少对生产、经营和管理等活动及其所处环境的诊断支持. 企业诊断就是发现企业中存在的问题, 分析其原因并提出可行的措施, 以改善企业的生产、管理和经营. 另一方面, 企业管理者希望信息系统能够及时提供各种指标的评估信息, 而不是在大量数据和报表中寻找答案. 企业诊断涉及生产、经营、管理和决策等各个方面, 包含的影响因素多, 而且各因素间存在网状关系, 这就决

定了企业诊断处理具有数据量大、诊断周期长、专业较强等特点. 企业信息系统必须增强企业诊断方面的能力.

M. R. Klein 等对企业诊断系统中的系统建模、决策支持等进行了研究<sup>[1-7]</sup>. 但这些研究往往与企业信息系统的研究相孤立. 基于数据仓库系统实现数据获取和功能共享, 解决了复杂的数据获取、转换和集成的问题, 以利于对企业进行有效诊断.

## 2 模糊 Petri 网推理机

一般地, 企业诊断专家经验和知识难以定量表示, 因此, 企业诊断系统除了要进行定量分析和模拟外, 还要进行模糊知识的表示和逻辑推理. 专家知识主要基于产生式规则系统建模, 通过把知识分解归结为独立的规则和事实, 简化知识的表示, 但未能把知识作为一个体系进行建模, 遗漏了许多信息<sup>[6]</sup>. 此外, 产生式规则在模糊知识表示和推理领域缺乏柔性, 知识库修改困难<sup>[7]</sup>.

模糊 Petri 网 (Fuzzy Petri Net, 简称 FPN) 是在 Petri 网基础上结合模糊集理论, 能更好地处理知识

收稿日期: 2003-04-10

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2001AA414240)

作者简介: 胡 春(1975-), 男, 浙江丽水人, 浙江大学博士研究生, 从事流程工业 CIMS 技术、企业诊断系统、模糊推断、Petri 网建模与应用研究.

的模糊性、整体性和复杂性,是人工智能领域中一个新的研究领域.利用 FPN 建模能使生产(如产品、设备、物料、质量)、经营(如财务、效益)以及企业素质和行为等企业诊断模型间易于集成,而且易于理解和修改.模糊 Petri 网的一般定义如下:

$$F_{PN} = (P, T, D, A, \beta, F, M).$$

其中:  $P$  为库所有限集;  $T$  为变迁有限集;  $D$  为命题有限集,且  $|P| = |D|$ ;  $A$  为弧有限集,  $A \subset P \times T \cup T \times P$ ;  $\beta$  为库所关联函数,  $\beta: P \rightarrow D$ ;  $F$  为变迁关联函数,  $F: T \rightarrow [0, 1]$ ;  $M$  为标识;  $M_0$  为初始标识.

由于系统动态特性上存在差异,趋于成熟的 DEDES(Discrete Event Dynamic System)的 Petri 网建模技术和算法不能直接应用于诊断系统的建模和推理.在 DEDES 的 Petri 网模型中,代表任务或事件的变迁触发会消耗其输入库所中的代表资源 token.而在建模产生式规则系统的 Petri 网模型中,库所中的 token 表示相应命题的真伪或可信度.它们不会因触发变迁而改变,只在以其为目标的变迁触发下才可能发生变化.已有的 FPN 模型在进行推理时存在不确定性问题(如图 1 中  $p_9$  获得 token 的模糊值依赖于可达路径上各变迁的触发顺序)<sup>[6-10]</sup>,而且也未能彻底地解决 FPN 的结构冲突(见图 1 中  $p_4$ )问题.

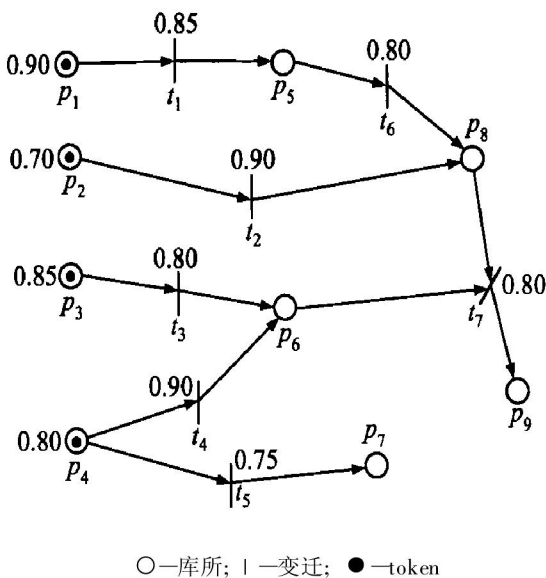


图 1 模糊 Petri 网推理模型

为了适应复杂的制造企业诊断领域的建模和推理要求,在此扩展了模糊 Petri 网系统的弧函数、库所容量、变迁规则以及使能条件的定义,在建模算法中以模块替换的形式解决 FPN 的资源冲突问题,通过对弧函数设置,在合理初始标识下保证改进 FPN 模型正向推理和逆向推理的正确性.

### 3 面向制造企业的 IEDS

在制造企业中,诊断问题多为结构化或半结构化问题,该企业诊断领域已形成较完善的诊断方法和流程,为 IEDS 提供了理论基础.利用模糊 Petri 网进行建模和推理,通过数据仓库系统使 IEDS 与企业信息系统相互集成,使系统具备对企业进行有效地结构化问题和半结构化问题诊断的能力,并给用户深入分析非结构化问题提供支持.

#### 3.1 IEDS 功能模型

基于数据仓库的 IEDS 主要包括查询与跟踪、问题识别和指标评价、模糊 Petri 网推理、诊断过程概要解释、问题解决支持、人机界面共 6 个功能模块,如图 2 所示.其中:细线表示提供支持;粗线表示诊断流程;虚线的右边为 IEDS 结构图;图中省略了各个库的管理系统;左边是为其提供支持的数据仓库和 OLAP(Online Analysis Process)系统以及用户.诊断过程分为自动和人工 2 种模式.自动诊断模式通过时间或数据抽取触发,并在发现问题后以消息或邮件方式通知相关用户;人工模式使用户可以根据需要,选择进行企业诊断的范围.

各模块的主要功能和实现方式如下.

##### 3.1.1 查询和跟踪模块

对来自自动和手动模式的请求进行相应指标的检查、计算和跟踪,并且对问题识别和指标评价模块的数据查询请求进行响应;以邮件或消息的形式将结果通报给用户.

##### 3.1.2 问题识别和评价模块

对查询和跟踪模块发现的问题进行识别和评价,或对用户的诊断要求进行分解,向查询和跟踪模块发送数据查询请求,进行模拟、计算和分析.

结构化问题的诊断在该模块内完成,然后直接将诊断过程提交给诊断过程概要解释模块.对于涉及逻辑推理的半结构化问题,先将相关数据模糊化,再提交给模糊 Petri 网推理模块.

##### 3.1.3 模糊 Petri 网推理模块

把各模糊值转化为模糊 Petri 网的初始标识,进行模糊推理,完成后把推理的过程和结果以文件方式提交给诊断过程概要解释模块.

##### 3.1.4 诊断过程概要解释模块

基于知识库和面向诊断数据库,根据问题识别和指标评价模块或模糊 Petri 网推理模块的信息,以用户可以理解和接受的方式给出概要解释.

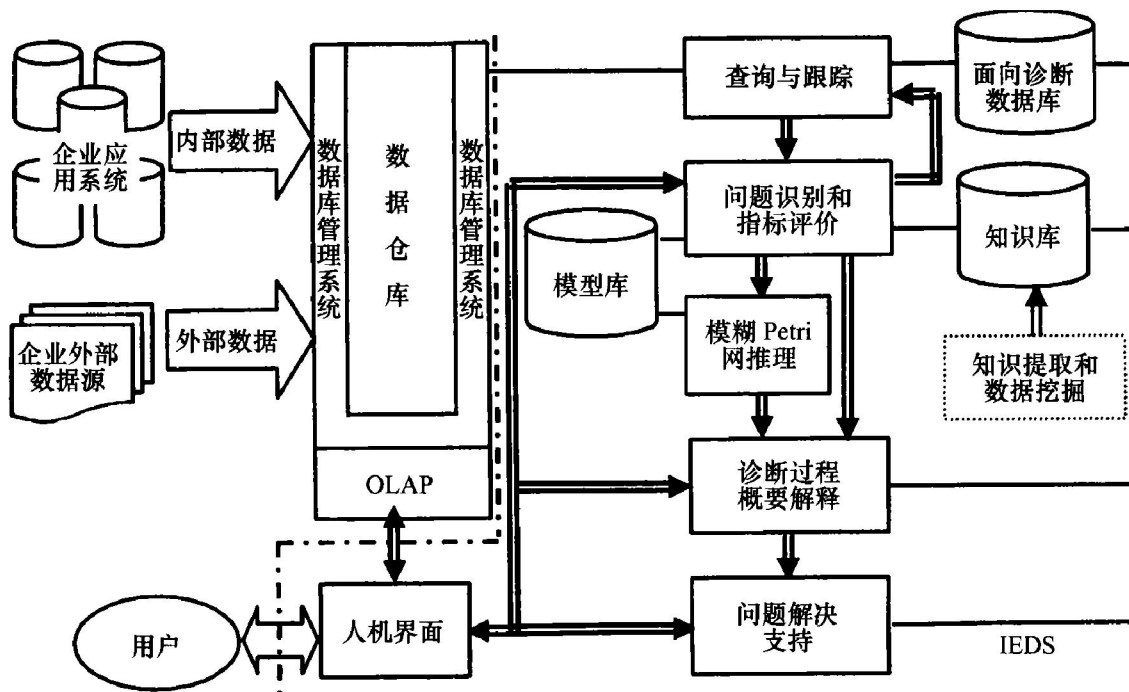


图 2 基于数据仓库的 IEDS 功能模型

### 3.1.5 问题解决支持模块

根据诊断系统的结果和概要解释,为用户进行深入分析时提供在线帮助。

### 3.1.6 人机界面模块

提供 IEDS, OLAP 与用户的交互统一界面,提供一个企业诊断和分析的集成环境。

### 3.1.7 3 个库系统

3 个库系统面向诊断数据库存储诊断相关数据和信息,为评价、跟踪和分析提供支持;模型库包含企业诊断的各类模型,为指标的计算、问题分析以及逻辑推理提供支持;知识库包含企业诊断和解决措施的相关知识。

基于数据仓库的 IEDS 主要是面向制造企业中结构化和半结构化的问题,基于数据仓库有效进行监控、诊断以及提供较强的分析支持能力,目标是为用户提供有效的企业诊断集成环境。

## 3.2 IEDS 关键技术和方法

### 3.2.1 模糊 Petri 网推理诊断技术

专项诊断或特定问题诊断主要基于模糊 Petri 网模型进行逆向模糊推理,实现类似专家进行诊断的过程。首先确定并评估所有相关因素,再根据这些因素的状态确定模糊 Petri 网的初始表示,通过模糊 Petri 网模型对所有可能的形成路径进行推理,获得可能性最大的成因和形成模式。而全面诊断则直接评估所有因素,然后进行正向模糊推理,检查可能存在的问题。模糊 Petri 网建模的主要难点是模糊隶属

度函数及模糊变迁置信度的确定。

### 3.2.2 与数据仓库系统的集成方法

数据仓库系统在采集来自企业内部和外部的数据时,充分考虑企业诊断的数据需求,经过抽取、集成和转换过程后以面向主题的形式存储。通过元数据提供相关的数据模型和信息,以利于 IEDS 和 OLAP 等系统有效地利用这些数据。

IEDS 与数据仓库系统的集成主要基于 Client/Server 模式,在服务器端查询和跟踪模块的设计,而系统其他模块一起安装在客户端。通过在数据仓库系统中插入利用触发器和存储过程实现的触发模块,实现在数据仓库系统数据抽取时向智能诊断系统的查询和跟踪模块发送信息启动自动查询和跟踪功能。在跟踪模块和数据库管理系统间,通过 ODBC 接口实现数据查询,使数据仓库系统为 IEDS 提供全面的数据支持。这样设置的优点有:修改模块内包含的逻辑过程方便,对客户的应用透明化,能较好地适应企业动态的特点;此外,由于服务器端完成大部分计算,因而降低了网络的通信量。

### 3.2.3 知识提取和数据挖掘

企业诊断知识是 IEDS 的专业理论基础,诊断知识的提取和数据挖掘涉及许多具体、复杂的问题,而且许多新方法和新技术正不断予以应用。通过各种数据挖掘技术和方法不断修正和完善 IEDS,同时基于数据仓库、OLAP 挖掘企业数据,提高了对各种故障和问题识别的正确率。

## 4 结 论

a. 通过扩展模糊 Petri 网实现模糊推理,使企业诊断的知识易于理解和修改,便于 IEDS 的应用和维护。

b. IEDS 通过与数据仓库系统的集成,有效利用了制造企业信息系统中的大量数据,自动监控和跟踪企业生产、经营和管理,提供了结构化和半结构化问题的诊断和非结构化问题诊断支持,并能将诊断结果及时通知相关用户,为用户提供有效的企业诊断集成环境。

### 参考文献:

- [1] Klein M R. SIMAR: a software environment to define and test strategic management knowledge bases [J]. *Decision Support Systems*, 1999, 26(2): 151-177.
- [2] Feelders A J, Daniels H A M. A general model for automated business diagnosis [J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 623-637.
- [3] Volberda H W, Rutges A. FARSYS: a knowledge-based system for managing strategic change [J]. *Decision Support Systems*, 1999, 26(2): 99-123.
- [4] Courtney J F, Paradise D B, Mohammed N H A. A knowledge-based DSS for managerial problem diagnosis [J]. *Decision Sciences*, 1987, 18(3): 373-399.
- [5] Mohammed N H A, Courtney J F, Paradise D B. A prototype DSS for structuring and diagnosing managerial problems [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1988, 18(6): 899-907.
- [6] Scarpelli H, Gomide F, Yager R R. A reasoning algorithm for high-level fuzzy Petri nets [J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 1996, 4(3): 282-294.
- [7] Yang R, Leung W S, Heng P A, *et al.* Improved algorithm on rule-based reasoning systems modeled by fuzzy Petri nets [A]. Fogel D B, eds. *Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems* [C]. Piscataway: IEEE, 2002: 1204-1209.
- [8] Chen S M. Weighted fuzzy reasoning using weighted fuzzy Petri nets [J]. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2002, 14(2): 386-397.
- [9] Yang S J H, Chu W C, Lee J, *et al.* A fuzzy Petri nets based mechanism for fuzzy rules reasoning [A]. Storms P, eds. *Proceedings of 21st Annual International Computer Software and Applications Conference* [C]. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 1997: 438-443.
- [10] Chen S M. Fuzzy backward reasoning using fuzzy Petri nets [J]. *IEEE transactions on Systems, Man and Cybernetics( Part B)*, 2000, 30(6): 846-856.

## Intelligent enterprise diagnosis system for manufacturing enterprises

HU Chun, LI Ping, WANG Hui

(National Laboratory of Industrial Control Technology, Institute of Industrial Process Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** The present situation of research on enterprise diagnosis system is overviewed, and issues resulting from isolation with enterprise information system are analyzed. To meet management requirement of modern manufacturing enterprises, Intelligent Enterprise Diagnosis System (IEDS) based on data warehouse is proposed to meet the management requirement of modern manufacturing enterprises. IEDS is composed of 6 modules. Aiming at dealing with fuzziness, integrity and complexity of knowledge of enterprise diagnosis, fuzzy Petri net system is extended to realize its representation and reasoning. Major functions of modules of IEDS and method integrated with data warehouse system are presented in the function model. And the key technologies and methods of IEDS realization are discussed, such as diagnosis reasoning using fuzzy Petri net, method integrated with data warehouse, knowledge discovery and data mining. Integration between IEDS, data warehouse system and OLAP results in an effective enterprise diagnosis integrated environment. Supported by IEDS, managers can find out problems in enterprises and resolve them rapidly and effectively. Therefore, manufacturing enterprises can exert their potential capacity and be developed healthily.

**Key words:** diagnosis system; enterprise diagnosis; fuzzy reasoning; data warehouse; fuzzy Petri net