

# 基于模糊产生式规则推理的电脑故障诊断系统

程树林,姚合生,叶家鸣

(安庆师范学院 计算机与信息学院,安徽 安庆 246011)

**摘要:**根据电脑故障知识结构性差、耦合性不强及特征参数不易提取的特点,采用适合该问题的模糊产生式算法进行故障诊断推理,设计了故障知识的三层模型、表达方法和知识库结构,给出了基于模糊区间的语义距离计算公式、基于故障树的防止规则组合爆炸的规则分组方法和带误差控制的阈值选取方法,运用面向对象的理论设计和实现了电脑故障智能诊断系统,其中描述了B/S模式下分布式计算环境的系统结构和规则类的设计。

**关键词:**电脑故障;模糊;产生式规则;智能诊断

**中图分类号:**TP182

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2007)12-0037-03

## Computer Fault Diagnosis System Based on Fuzzy Production Rule Inference

CHENG Shu-lin, YAO He-sheng, YE Jia-ming

(Computer and Information Institute, Anqing Teachers College, Anqing 246011, China)

**Abstract:** According to the computer faults' characters with worse structure, not strong coupling and not easily distilling the characteristic parameters, the fuzzy production rule inference is used to diagnose the computer fault. The three-layer model and expression method of faults knowledge and structure of knowledge repository are designed, including the method of computing fuzzy distance, the method of rule group based on fault tree avoiding the rules combination blast, and the way of selecting threshold with error control. The whole intelligent diagnosis system of computer faults is designed and realized by using the objected-oriented theory. At last, the distributing system structure of B/S mode and the design of rule class are described.

**Key words:** computer faults; fuzzy; production rule; intelligent diagnosis

## 0 引言

智能故障诊断技术目前比较成熟,处于应用阶段。相应的推理算法也很多,如基于神经网络的智能诊断<sup>[1,2]</sup>,基于粗糙集理论的故障诊断<sup>[3]</sup>,基于遗传算法的故障诊断<sup>[4]</sup>等。产生式规则推理算法虽然不复杂,但在人工智能应用中是最早最普遍的一种推理算法,主要用于易于规则表示的经验知识和专家问诊的推理过程<sup>[5]</sup>。微型计算机除了硬件本身损坏的故障诊断外,更常见的是利用经验知识进行诊断,同时电脑故障不像制造业中生产设备故障那样容易提取统一特征参数<sup>[2]</sup>。电脑故障具有知识结构性较差、知识点耦合性不强、特征参数不易提取的特点<sup>[6]</sup>,因此,利用模糊产生规则推理进行电脑故障诊断会取得较好的效果。笔者从应用的角度设计了电脑故障的智能诊断系统。

## 1 知识库

### 1.1 知识模型

知识的表示在智能诊断系统中非常重要,它是系统诊断和推理的基础。这里使用的知识抽象模型是改进了文献[6]中的知识模型,如图1所示。模型分为三个层次,即故障类单元、知识单元和结论单元。顶层为故障类单元,表示故障的类别,比如软件故障中的系统故障,硬件故障中的主板故障、显卡故障等;第二层表示的是知识级单元,主要包括故障现象和规则,现象和规则之间相互联系,一种现象可以对应多种规则,一条规则也可以对应多种现象,它们之间是多对多的联系,规则有可信度和阈值。规则检验和匹配时,现象有发生的强度和重要性权系数;第三层是结论单元,表示的是通过对现象和检验规则的逻辑推理后得出的故障结论和可能的原因。其中,故障现象和检验规则是系统知识库的主要组成部分,来自于实际经验和专家知识,该知识库的正确性直接影响了诊断的效果。同时,知识库使用一段时间后可以由机器学习使其参数逐步

收稿日期:2007-03-15

基金项目:安徽省自然科学基金项目(2005KJ3632C)

作者简介:程树林(1979-),男,安徽安庆人,讲师,硕士,主要研究方向为智能诊断、知识工程及软件系统结构。

优化。

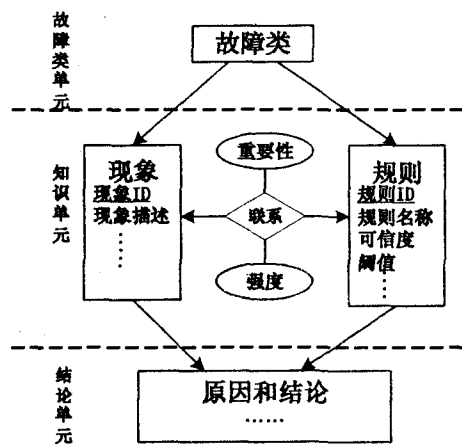


图1 知识抽象模型

## 1.2 知识表达

基于图1模型和电脑故障特点,知识的表达采用模糊产生式规则表达方法<sup>[6]</sup>:

$$P * W \rightarrow C(PC, \Gamma) \quad (1)$$

其中,  $P * W = \{p_i * w_i \mid i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ ,  $p_i$  表示前件事实的模糊系数,  $w_i$  表示前件  $p_i$  出现程度的权系数,  $w_i \geq 0$ ,  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ;  $PC$  表示规则成立的可信度, 取值范围为  $[0, 1]$  区间;  $\Gamma$  表示规则成立的阈值, 取值范围为  $[0, 1]$  区间。因此, 上述规则(1)表示当前件的真度  $PW = \min\{\sum(w_i * p_i), 1\}$  大于  $\Gamma$  时( $*$ 表示模糊算子), 即可以得出当前故障发生了, 结论的真度  $C = PW * PC$ , 即结论的真度等于规则前件的真度与规则成立的可信度乘积。文献[6]中针对模糊系数和权系数的确定, 设计了具体的用于电脑故障知识表达的实例。

## 1.3 知识库结构

图2是系统知识库结构, 设计的依据是上述知识抽象模型和知识表达方法。该知识库结构本质是电脑故障智能诊断系统的关系数据库逻辑视图的一部分,

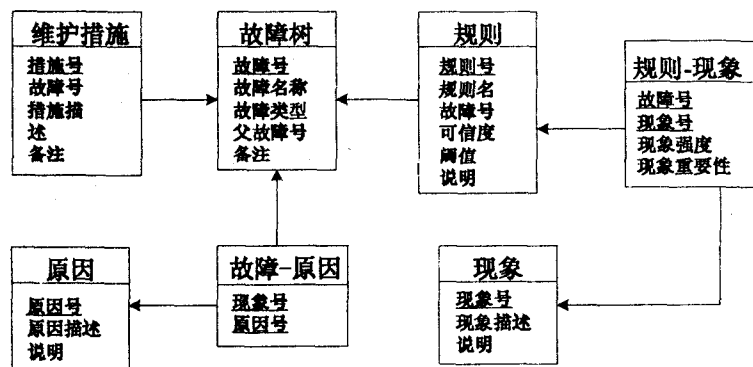


图2 知识库结构

表达了知识库中各对象实体间的参照关系。图中各箭头表示了数据库表之间的联系。如规则对象实体与现

象对象实体间存在多对多的联系, 该联系产生一个新的对象实体“规则-现象”, 含有现象在检验规则中存在的强度和重要性属性, 该实体中的故障号和现象号分别参照了规则对象和现象对象。这里实现知识库的关系数据库采用 Microsoft SQL Server 2000, 对知识进行存取。

## 2 推理机制

### 2.1 模糊距离计算

在诊断推理的过程中, 需要计算故障现象模糊区间与中间数据库中事实模糊区间的距离, 以便确定它们之间的相似程度, 进行模糊匹配。常用的距离计算方法有欧氏距离、加权欧氏距离、马氏距离、明氏距离等<sup>[2]</sup>。文中模糊量词使用区间表示, 两模糊区间的上下限越接近表明它们距离越近, 其相似程度就越高; 反之, 相似程度越低。因此, 定性的分析可知两区间的上限和下限越接近距离就越小, 反之越大。同时考虑两区间的中点间的距离, 设计如下距离计算方法<sup>[2]</sup>。设两模糊区间的上下限分别为  $a_1, b_1$  和  $a_2, b_2$ , 则距离计算公式如下:

$$d_i = u_1 * \sqrt{(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} + u_2 * \left| \frac{a_1 + b_1}{2} - \frac{a_2 + b_2}{2} \right| \quad (2)$$

所以, 模糊区间相似度即故障现象的模糊系数为  $p_i = 1 - d_i$ 。其中,  $d_i$  表示两模糊区间语义距离,  $u_1$  和  $u_2$  为系数且  $u_1 + u_2 = 1$ , 通常情况下可分别取 0.5 即可。(2)式中第一部分表示了模糊区间端点间的距离关系, 第二部分表示了模糊区间中点间的距离关系。

### 2.2 规则分组

系统在执行模糊智能诊断过程中, 会执行规则的搜索和模糊匹配, 随着规则数量的增多执行效率会越来越低, 甚至会出现组合爆炸问题<sup>[5]</sup>。因此为了尽量避免此种情况发生, 系统在执行智能诊断前对规则进行分组, 尽可能提取与当前诊断相关的规则。分组的方法是使用故障树。设计和维护知识库时, 每条规则都会对应一个故障号, 而故障结构用树型结构进行描述。因此, 根据故障树就可以很方便地提取每次诊断的有效规则知识, 大大地提高了推理诊断的效率。

### 2.3 阈值的确定

在上述知识表达式(1)中, 当推理诊断故障是否发生时需要用到规则的阈值, 通常阈值都是由人为给定, 带有较大主观性。而阈值大小与知识库中前件事实是相关的, 因此为了提高阈值准

确性,这里使用标准知识库中前件事实计算值作为阈值参考值。此时,在设定和维护知识库时专家给定的前件事实模糊区间和重要性权系数要求较高。参考阈值计算公式为:

$$IG = \min\{\sum(w_i * p_i), 1\} \quad (3)$$

其中, \* 为模糊算子,  $w_i$  表示权系数,  $p_i$  表示模糊系数,由于标准知识库中  $p_i$  是一个模糊区间,因此第一次计算时  $p_i$  取模糊区间的中间值,以后每次计算时根据诊断案例采用合理方法调整阈值。为了提高诊断的准确率,减少漏判和误判,在进行前件真度与规则阈值比较时不直接使用参考阈值,而是给参考阈值一个误差值  $\epsilon$ :

$$\epsilon = \min\{0.05, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_{2i} - q_{1i})\} * IG, \text{ 所以阈值 } G = IG - \epsilon \quad (4)$$

其中,  $q_{1i}$ ,  $q_{2i}$  分别表示模糊区间的上限和下限,  $n$  表示前件事实个数。比较前件真度与规则阈值时,作以下判断:

$$R = PW - G \quad (5)$$

当  $R > 0$  时认为故障发生了,否则故障没有发生。以上阈值计算方法有一个优点,当系统诊断案例较多时可以利用案例结果进行机器学习和训练,调整阈值大小,使阈值更加合理。

## 2.4 推理过程

本系统诊断推理过程采用正向推理<sup>[6]</sup>,即从用户指定故障现象的事实出发,使用一组模糊产生式规则进行推理,其推理过程如下:

步骤一:提供一批故障现象的事实到中间数据库,并设定故障现象的权重系数和模糊区间;

步骤二:利用故障树分组提取与当前待诊断的故障最相关的规则前提;

步骤三:计算事实与规则前提间的模糊距离和模系数,进行模糊匹配;

步骤四:重复步骤三,直到所有的事实和规则都匹配完;

步骤五:计算前提真度并与故障规则的阈值进行比较,得出诊断结论。

## 3 系统设计与实现

### 3.1 系统结构及实现环境

系统在 B/S 下分布式计算环境中架构,进行网络化远程故障诊断<sup>[7]</sup>,同时支持多个用户在异地并行执行。系统运用 Microsoft Visual Studio .Net for C# 语言编码实现,系统结构如图 3 所示。图中 Web UI 中进

行了界面的模块化设计,使用的技术是 .Net 中的 UserControl 控件<sup>[8]</sup>。系统的主要业务逻辑使用 Web-Service 思想设计,以服务的形式提供,在 Internet 上注册和发布。如规则分组服务、故障诊断服务、案例查询服务等,这样有利于系统健壮性、稳定性和可靠性的提高。其中知识库和中间数据库的含义同专家系统中的含义,详细内容请参考文献<sup>[5]</sup>。

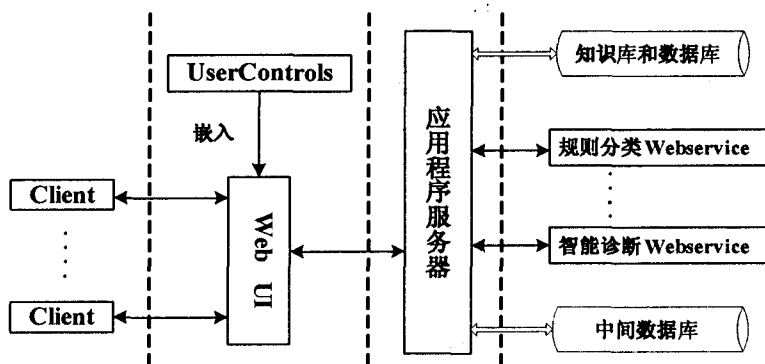


图 3 系统结构图

### 3.2 知识库中规则类的设计

系统应用面向对象语言 C# 设计和开发,使用了面向对象理论。系统中各实体对象根据各自的属性和功能抽象成类。图 2 中各实体对象的类组成了系统的知识库,这里给出规则类的设计,即把规则的前提、结论以及关于规则推理的方法定义成规则类<sup>[9]</sup>:

```
public class PRule
{
    public Int64 RNum; // 规则编号
    public ArrayList PreList; // 前件集(线性表)
    public ArrayList CList; // 结论集(线性表)
    public Int64 RNext; // 指向下一规则编号
    public bool Matching() { ... } // 匹配方法
}
```

以上代码列出了知识库中规则类基本结构,类中字段 RNum 表示规则编号,唯一标识一条规则;字段 PreList 表示规则的前件集,是一个以事实对象为元素的线性表;字段 CList 表示结论集,是一组结论的线性表;字段 RNext 表示指向下一规则的编号,若当前规则是最后一条规则,那么 RNext 值为 -1。在 .NET 中这些字段都可以设计成性能更好更安全的形式即属性,这里限于篇幅省略了。当然,类中还有一些相应的方法和操作,如 Matching() 表示事实匹配方法等。

## 4 结束语

故障智能诊断是人工智能的一个重要研究内容。文中根据电脑故障的特点,抽象了故障知识模型,给出

(下转第 43 页)

### 3 性能评价

从 Smart Client 的整体架构来说,由于在本地维护了一个服务连接池,这样用户就不需要直接去借助 UDDI 来定位常用服务,而是先通过服务连接池到服务提供商那儿消费。这样做,一方面提高了用户查询与消费服务的效率;另一方面,减轻了过量用户对 UDDI 所带来的负载量,同时也节省了网络带宽。

这一切是建立在用户对常用服务的访问频率大于服务本身的更新频率的基础上的。但是在大多数情况下,对于大多数服务消费者来说,服务被访问的频率是大于其更新频率的,因为服务提供商不会在绝大多数消费者没来得及消费的情况下频繁更新服务。从而可以看出,文中提出的面向动态服务的 Smart Client 是可行的,对于 Web 服务和网格的发展是有重要意义的。

### 4 结 语

提出了一种 Smart Client 智能客户端框架,它是面向 SOA 框架下的动态服务(包括 Web Services 和网格服务)的,具有对动态服务的自主查询,松散耦合,能够智能更新以及安全控制等特性。Smart Client 结合了原来胖客户端和瘦客户端的优点,使得 Web Services 或网格系统能够达到真正意义上的“即插即用”的效果。

#### 参考文献:

- [1] Booth D, McCabe F, Newcomer E, et al. Web Services Architecture[EB/OL]. W3C Working Group Note. 2004-02-11. <http://www.w3.org/TR/ws-arch/wsa.pdf>.
- [2] Srinivasan L, Treadwell J. An overview of Service-oriented Architecture, Web Services and Grid Computing[EB/OL]. HP Software Global Unit. 2005-11-03. <http://h71028>.

(上接第 39 页)

了知识表达方法和知识库结构以及推理过程,设计和实现了故障智能诊断系统。系统诊断的准确性很大程度上依赖于故障知识库的准确性,在使用时无疑要准确的丰富的专家知识和大量经验的积累,才能保证诊断结论较高的正确率。

#### 参考文献:

- [1] 郑小霞,钱 锋. 模糊神经网络推理的实时故障诊断专家系统[J]. 计算机工程与应用,2006(3):226-229.
- [2] 虞和济,陈长征,张 省,等. 基于神经网络的智能诊断[M]. 北京:冶金工业出版社,2000.
- [3] 朱张青,周 川,胡维礼. 基于粗集理论的一种混合智能故障诊断新方法[J]. 控制与决策,2006,21(2):233-235.

[www7.hp.com/ERC/downloads/SOA-Grid-HP-WhitePaper.pdf](http://www7.hp.com/ERC/downloads/SOA-Grid-HP-WhitePaper.pdf);2-11.

- [3] Erl T. SOA and Service Orientation[M]//In Service-Oriented Architecture (SOA): Concepts, Technology and Design. [s.l.]:Prentice Hall,2005:277-354.
- [4] Gottschalk K, Graham S, Kreger H, et al. Introduction to Web services architecture[J]. IBM System Journal,2002,41(2):170-177.
- [5] Hill D, Webster B, Jezierski E A, et al. Smart Client Architecture and Design Guide[EB/OL]. 2004. Microsoft Corporation. <http://download.microsoft.com/download/9/a/1/9a1115fd-8ba8-4aa0-a82e-07044bd12ac0/SCAG.pdf>;1-49.
- [6] Eclipse Foundation. Eclipse technical overview[R/OL]. Object Technology International, Inc. 2001. <http://www.eclipse.org/whitepapers/eclipse-overview.pdf>.
- [7] Mac-Vicar D, Navón J. Web applications: A Simple Pluggable Architecture for business Rich Clients[C]//Web Engineering, 5th International Conference, ICWE 2005. Sydney, Australia: [s.n.],2005:500-505.
- [8] Bell W T. UDDI version 2.04 API specification[EB/OL]. OASIS UDDI Committee Specification. 2002. <http://uddi.org/pubs/ProgrammersAPI-V2.04-Published-20020719.pdf>.
- [9] von Laszewski G, Foster I. Usage of LDAP in Globus[EB/OL]. Mathematics and Computer Science Division Argonne National Laboratory, Argonne, IL 60439. 1998-04-28. <http://www.cs.ucy.ac.cy/crossgrid/cygrid/ldap-in-globus.pdf>.
- [10] Pastore S. The service discovery methods issue: A web services UDDI specification framework integrated in a grid environment[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2006,29:1-15.
- [4] 贾海鹏,杨 军,张延生. 基于模糊理论和遗传算法的导弹故障诊断方法研究[J]. 计算机工程与应用,2004(9):212-215.
- [5] 蔡自兴 徐光祐. 人工智能及其应用[M]. 第3版. 北京:清华大学出版社,2003.
- [6] 程树林,江克勤,叶家鸣. 电脑故障分类及其领域知识的表达[J]. 计算机技术与发展,2006,16(9):65-67.
- [7] 王仲生. 智能故障诊断与容错控制[M]. 西安:西北工业大学出版社,2005.
- [8] 付 磊. ASP.NET 编程实作教程[M]. 北京:北京希望电子出版社,2002.
- [9] 王道平,马少平. 一个基于混合推理的故障智能诊断系统[J]. 计算机应用,2000,20(7):13-16.