

# 故障诊断专家系统中机器学习方法的研究

陈新中<sup>1</sup>, 王道平<sup>2</sup>, 王建斌<sup>3</sup>

(1. 西安金明达辐照电缆公司, 陕西 西安 710014; 2. 河北经贸大学, 河北 石家庄 050061;  
3. 西安建筑科技大学, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 首先介绍了故障诊断专家系统中的三种类型的知识, 即经验知识、因果知识和第一定律知识; 然后分析了常用的机器学习方法在故障诊断系统中的作用, 并在此基础上将诊断系统中的学习方法分为三种类型, 即简单学习、交互学习和独立学习; 最后阐述了故障诊断与机器学习的运行流程及其相互关系。

**关键词:** 机器学习; 知识获取; 故障诊断

**中图分类号:** TP206.3 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2000)01-0089-04

## Research on the machine learning method in fault diagnosing expert systems

CHEN Xin-zhong<sup>1</sup>, WANG Dao-ping<sup>2</sup>, WANG Jian-bin<sup>3</sup>

(1. Jinmingda Radiation Cable Company Ltd. Xi'an 710014, China;  
2. Hebei University of Economics and Trade, Shijiazhuang 050061, China;  
3. Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

**Abstract** Machine learning is playing a more and more important role in fault diagnosing expert systems. Three kinds of knowledge in diagnosing systems are introduced, namely the experience knowledge, causal knowledge and the first law knowledge. Then, we analyze the role of a few existing learning and, on the basis of the above discussion, divide the learning in diagnosing expert systems into three parts, i. e. simple learning, interactional learning and independent learning. Finally the frame of fault diagnosis and machine learning is given and the viewpoint that diagnosis and learning are an entity is explained.

**Key words** machine learning; knowledge acquiring; fault diagnosis

随着人工智能技术的发展,故障诊断系统正朝着智能化的方向迈进.智能诊断系统的核心是诊断型专家系统.对于专家系统而言,其工作的动力源泉是知识,知识的数量和质量对它的性能起决定性的作用.因此,知识获取方法始终受到人们的重视.现代设备极具复杂性,新的领域知识不断出现,仅仅依靠专家现有的知识很难使诊断系统达到较高的诊断水平.面对这种情况,传统的通过知识工程师获取知识的方法已经不能完全满足诊断系统的实际要求,从而使得能够取而代之的机器学习变得越来越重要.

不同类型的专家系统所解决的领域问题是不同的,这就决定了不同类型专家系统具有不同的特点.任务和特点的差异又导致了学习方法的差异.因此,应当根据各种不同类型专家系统的功能和特点,研究其机器学习方法.从已有的故障诊断专家系统来看,学习能力低下是妨碍其应用的主要原因之一,建

收稿日期: 1999-11-10

作者简介: 陈新中 (1964-), 男, 河南漯河人, 高级工程师, 北京科技大学计算机系计算机及应用专业硕士研究生。

立良好的学习机制是提高故障诊断系统水平的主要途径之一。

## 1 故障诊断专家系统中知识的分类

一个诊断方面的专家具有与问题有关的各种不同的知识.从认识论的角度出发,可以将故障诊断专家系统中的知识分为三类,即经验知识、因果知识和第一定律知识.其中经验知识被称为浅知识,因果知识和第一定律知识被称为深知识。

### 1.1 经验知识

这种知识是专家在长期的工作实践中经过反复诊断领域问题而获得的,它给专家提供了解决诊断问题的捷径,使他解决问题比一个新手更快、更有效.经验知识的特点是,前提和结论之间没有强烈的因果关系.当经验知识上升到理论的高度时,它就不再是经验知识,而成为新的理论知识。

### 1.2 因果知识

因果知识建立在经验知识的基础之上,能把诊断对象的内部结构显式地表示出来.与经验知识相比,因果知识具有潜在的理论依据,它的前提和结论之间具有明显的因果关系.因果知识包含了问题领域可见和不可见的全部属性,而经验知识仅包含了问题领域的外部可见属性。

例如,图1(a)所示的门电路是一个无任何结构知识的黑箱,只有启发式规则“ $output = \text{ture}$ ”描述了该系统的输入输出特性,系统的推理按输入信号和这条启发式规则来进行;与此相反,图1(b)表示了与图1(a)相同的门电路,但其内部结构已被显式地描述出来,系统知识包括各种逻辑门的属性,如反向器属性为“ $output = \sim(input)$ ”,与非门属性为“ $output = \sim(input1 \wedge input2)$ ”,以及它们的连接关系。

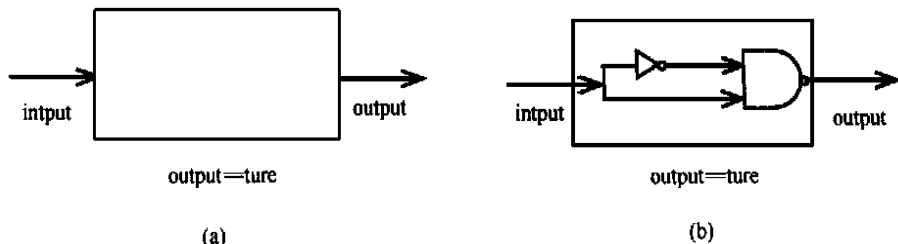


图1 经验知识与因果知识的比较

### 1.3 第一定律知识

第一定律知识包括诊断领域的一切物理性质和处理特定问题的基本步骤,如理论、定律、公式、规律等,它具有明确的科学理论依据,具有普遍性和通用性.对于不同的诊断领域,第一定律知识的复杂程度是不一样的.在有的领域,如数字电路的故障诊断,第一定律知识非常简单;而在另外一些领域,如复杂的机械设备诊断问题,第一定律知识则要复杂得多。

当然,各种类型的知识之间并没有十分严格的界限,它们只不过是从小经验知识到常识这一连续统一体中的一个简单划分.当诊断一个问题时,专家将以高度综合的方法使用上述各种类型的知识.起初,专家试图使用经验知识,因为这种知识一般能提供快捷有效的解决问题的方法.如果经验知识不足以解决问题,专家就很容易转向使用那些他认为有用的其他类型的知识。

## 2 机器学习方法及其在故障诊断专家系统中的作用

由于机器学习所涉及的客观对象各具特色,从而导致了学习方法的多样性.机器学习的分类方法有多种,如按应用领域的分类、按获取的知识表达的分类、按系统性的分类、按推理策略的分类等.按推理策略可将机器学习分为以下几种:

(1)机械学习(role learning) 这是一种最简单、最基本的学习方法,它通过记忆和评价外部环境提供的信息达到学习的目的.学习系统要做的工作是把经过评价取得的知识存储到知识库中,当要求解问题时,就从知识库中检索相应的知识直接用来求解问题。

机械学习在诊断系统建造初期起着十分重要的作用,系统使用这种学习方法学习一些现成的知识,并为以后的学习打下基础.在这种学习过程中不必推理。

(2)讲授学习(learning by being told) 在这种学习方式下,由外部环境提供一般性的指示或建议,

系统把它们具体地转化为细节知识并存入知识库中. 在学习过程中要反复对形成的知识进行评价, 使其不断完善. 目前大多数专家系统使用这种方法建立知识库.

故障诊断专家系统的一些知识常常需要知识工程师与计算机合作来获取, 知识工程师起到对系统的辅导作用, 补充机器学习过程中所缺乏的部分知识, 这是目前诊断系统中用得较多的学习方法.

(3) 演绎学习 (deductive learning) 演绎学习是以演绎推理为基础的学习方法. 通常的演绎推理过程一般是从公理出发, 经过逻辑变换, 推导出结论并存入知识库. 由于演绎推理是一种“保真”变换, 即若前提为真, 则由演绎推出的结论也为真, 所以通过演绎学习方法获得的知识具有很高的可靠性.

由于需要严格的推理机制, 使得演绎学习并不适用于故障诊断专家系统.

(4) 归纳学习 (inductive learning) 这是一种从特殊情况推导出一般规则的学习方法. 环境向系统提供一系列正例和反例, 系统通过归纳推理, 将这些例子进行推广 (generalization), 产生一个或一组一般的概念描述. 人类知识的增长主要得益于归纳学习的方法, 虽然归纳得到的新知识不像演绎学习的结论那样可靠, 存在很强的可证伪性, 但对于认识的发展与完善具有重要的启发意义. 归纳学习又可分为事例学习 (learning from examples) 和观察与发现学习 (learning from observation and discovery).

归纳学习有助于对已学的知识进行抽象归纳, 从而对其进行深刻的理解. 它对领域理论要求较少, 适合于故障诊断领域. 从某种意义上讲, 归纳学习是故障诊断专家系统中最根本的学习方法.

(5) 解释学习 (explanation-based learning) 解释学习是先通过演绎解释, 然后归纳构造一般原则的学习方法. 它是近年来在机器学习领域兴起的一种新的学习方法. 它不像归纳学习那样需要大量的实例, 而只需要一个例子. 环境向系统提供目标概念. 该概念的一个例子、领域理论及操作准则. 系统通过运用领域知识, 对该实例进行详细的分析, 从而产生关于待学概念的一个解释, 然后对解释进行推广得到一般性的描述.

在故障诊断专家系统中, 解释学习只是归纳与演绎的应用. 由于它需要较高的领域理论, 而诊断领域往往缺少完善的理论, 而且目标的概念也不明确, 为此其学习结果并不可靠, 形成的假说中存在着大量的伪描述, 所以进一步的证实是十分必要的. 由于这些因素, 目前尚难以把它用于比较复杂的故障诊断领域.

(6) 类比学习 (learning by analogy) 它是通过对相似事物的比较进行学习的一种学习方法. 通过类比, 可以将两个不同领域中理论的相似性抽取出来, 用一个领域求解问题的思想来指导另一个领域的问题求解. 把这一思想用于机器学习就得到了类比学习. 类比学习在人类科学技术发展历史中起着重要的作用, 许多重大科学技术发现都是用类比方法得到的. 类比学习也是演绎和归纳的结合.

类比学习是故障诊断专家系统自我完备和解决类似问题所必需的.

实践表明, 没有万能的机器学习方法. 只有将各种方法结合起来, 并在具体问题具体分析的思想指导下才能获得成功.

### 3 故障诊断专家系统中的机器学习方法

故障诊断专家系统是依据对诊断对象征兆的观察与分析推断故障所在, 并给出故障排除方案的专家系统. 其学习素材为领域专家求解问题的启发式经验、诊断对象的结构和功能知识、因果知识、原理知识等. 因此, 机械学习、讲授学习、归纳学习等应是其主要的学习方法.

#### 3.1 故障诊断专家系统中的机器学习机制

根据以上诊断的分类, 故障诊断专家系统中的机器学习应包括三个方面, 在这里我们把它们分别称为简单学习、交互学习和独立学习. 系统学习机制的一般结构图如图 2 所示, 图中各模块的功能如下.

(1) 简单学习模块 该模块面向用户、专家和包含有历史状态数据等资料的文本文献, 用于系统获取有关诊断对象结构、功能、运行约束条件等知识, 目前它仍是各种智能系统所依赖的知识获取手段.

(2) 交互学习模块 该模块面向知识工程师, 获取由知识工程师处理过的各种不同类型知识. 它按照一定的方式向知识工程师进行有目的的学习, 并在理解的基础上将领域专家的经验知识进行形式化描述, 进而转化为系统的知识.

(3) 独立学习模块 该模块面向诊断对象,是完全摆脱了知识工程师参与的学习.在一次故障诊断后,对诊断结果进行分析,若出现新故障则用机器发现模块去获取新知识,否则对已有的知识进行重新检验和评估.这种学习过程中需要复杂的推理策略支持,是系统学习的最高层次.

(4) 知识检验与评估模块 该模块的功能是实现对知识库中的知识进行一致性检验和冗余检验,并在诊断结果的基础上,对相关的知识进行评价,以达到优化知识、保证知识库质量的目的.

3.2 故障诊断与机器学习的运行流程

故障诊断系统中诊断与学习的运行流程如图 3 所示.诊断系统运行时,首先采集用于故障诊断所必须的诊断信息和故障征兆,然后利用诊断知识进行推理.当系统发现诊断对象中存在故障时,要判断该故障是以前曾经发生过的故障还是从未遇到过的故障.若是前者,则可作进一步的诊断,并根据诊断结论对知识库中的知识进行检验,以便做相应的修改;若是后者,当对该故障问题求解成功时,应通过学习机制获取新的知识,并对知识库进行扩充和完善,当对该问题求解失败时,应将该故障问题及求解情况存入问题库,待系统具备了更多的知识后再进行解决.每次知识库更新以后,系统总要扫描问题库,查看是否可以解决以前尚未解决的某些故障诊断问题.

3.3 诊断过程与学习过程的关系

诊断实例是各种经验知识的唯一来源,从这个意义上讲,诊断是学习的基础.事实上,对诊断的总结就是一个学习过程.另外,学习的结果丰富了诊断系统的知识,使系统具备比以往更强的诊断能力.因此,故障诊断和机器学习是一个统一体,是一个过程中的两个不同阶段.这一点从以上分析的运行流程也可以清楚地看出.然而,由于以往诊断系统缺乏学习能力,其诊断总结主要是由人来完成的,从而给人以诊断与学习相分离的印象.

4 结 论

显然,机器学习研究的发展前景是广阔的.随着现代设备的复杂程度越来越高,机器学习将在智能诊断系统中起更大的作用.机器学习将尚未成熟的智能故障诊断技术与迅速发展的机器学习结合在一起,并应用于具体的诊断系统,是一件十分困难而又非常有意义的工作.实际系统中学习与诊断系统的并行必将提高系统的智能化程度,提高诊断系统的效用.

参考文献:

[1] 洪家荣. 机器学习——回顾与展望 [J]. 计算机科学, 1991, (2): 1-8.  
[2] 罗钧. 智能系统与机器学习 [J]. 计算机科学, 1991, (1): 32-35.  
[3] 阎明印. 具有学习功能的机械设备故障智能诊断的研究 [D]. 武汉: 华中理工大学, 1993.  
©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

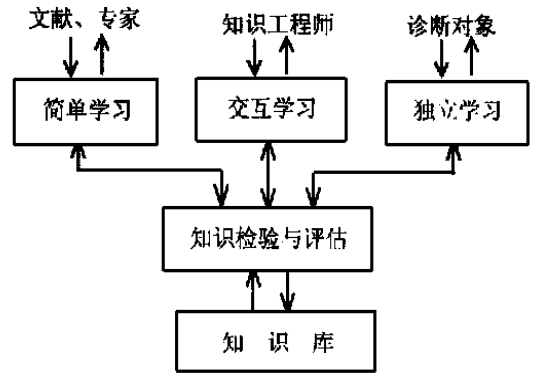


图 2 诊断系统中学习机制的一般结构

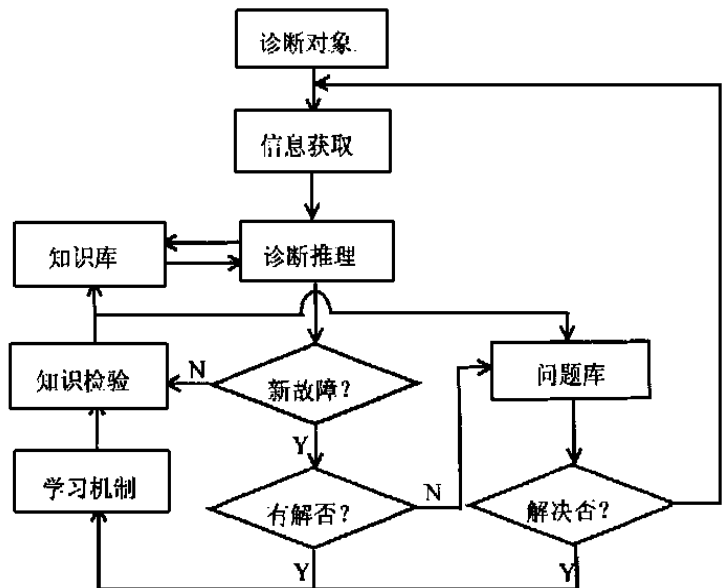


图 3 诊断与学习的运行流程图