

面向问题分析与决策的专家系统

尹文生

(华中科技大学 机械科学与工程学院, 武汉 430074)

摘 要: 专家系统的根本目标在于为实际应用问题提供强有力的分析与决策能力。以人类通过长期实践活动总结的复杂问题分析与决策方法为指导思想,建立了以问题对象为核心、相关对象为问题主体、问题现象为表现形式、因果关系为问题变化驱动力、过程知识和原理知识为参考对象的面向问题分析与决策的专家系统。这种专家系统围绕应用领域中的问题构建知识库,而不是使用规则,所以得到的知识系统比较合理、清晰,不容易产生知识矛盾与冲突,有利于大型知识库的构建;同时,采用基于问题的推理,与人类的思维习惯相符合,可以大大提高推理效率;此外,开发这种专家系统无须掌握人工智能语言,也无须知识工程师参与,可以使领域专家完全集中于专业领域知识的分析和整理。

关键词: 专家系统; 问题对象; 问题主体; 问题现象; 因果关系; 分析与决策

中图分类号: TP182 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2008)12-3645-05

Problem oriented analysis and decision expert system

YIN Wen-sheng

(School of Mechanical Science & Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The ultimate goal of the expert system is to provide strong ability of analysis and decision for the practical problems. Based on the problem analysis and decision thought got by human for long practical activities, this paper showed a problem oriented analysis and decision expert system which used problem objects as core, correlated objects as problem meta-objects, problem phenomena as expression form, causality as problem transformation driver, procedure knowledge and principle knowledge as reference object. The knowledge base of the expert system is built around the application problems without using the rules, so the system is more rational and clear, and is not easy to generate the knowledge conflicts and is convenient to build large scale knowledge base. At the same time, problem based inference is used in this system, which accords with the human thinking habits and has higher inference efficiency. Moreover, domain experts can develop this kind of expert systems without mastering artificial intelligent language and needing the participation of knowledge engineers, and only concentrate on the analysis and codification of the domain-specific knowledge completely.

Key words: expert system; problem object; problem meta-object; problem phenomenon; causality; analysis and decision

0 引言

人工智能系统经过几十年的发展取得了许多令人鼓舞的成果,得到了广泛的应用。其中,专家系统是人工智能领域中发展最为迅速、应用最为广泛的一个研究方向。专家系统最大的优势在于它绕过了许多人工智能目前还没有解决的问题,将人类专家的专业领域知识进行了充分的整理和浓缩,使专家系统成为人工智能研究中最具实用价值的研究领域。自从专家系统和知识工程之父 Feigenbaum 于 1968 年研究成功第一个专家系统 DENDRAL 以来,已经有涉及众多专业领域的专家系统出现,大大地推动了人工智能的应用步伐。

虽然专家系统得到了人们的高度重视,具有在各行各业广泛应用的前景,而且也存在许多比较有效的专家系统开发工具,但是目前专家系统仍然存在推理效率比较低、知识规则少、开发比较困难等缺点,影响了专家系统应用的普及,迫切需要研究与开发更通用、更方便、更高效的专家系统开发工具和专家系统外壳。

绝大部分专家系统都是研究如何进行各领域内特有问题的分析与决策,从人类的观点来看,所有这些领域内的问题都

具有相同的抽象描述,即一般问题的分析与决策。所以研究与分析适合一般问题分析与决策的专家系统及开发工具具有较大的研究意义和实用价值。正如专家系统的先驱 Feigenbaum 所说的那样:专家系统的力量是从它处理的知识中产生的,而不是从某种形式主义及其使用的参考模式中产生的。因此,专家系统应该更强调知识本身力量的发挥,更强调对人类思维过程的支持。

1 一般问题的分析与决策机制

专家系统的种类比较多,其中应用较多的专家系统是问题分析与决策专家系统,其研究对象是各个应用领域内的问题分析与决策问题。例如著名的血液传染病医疗诊断系统 MYCIN 主要研究如何通过对各种病因的分析决策指出病人的疾病并给出相应的对策,而 ELAS 系统则用于钻井数据分析。这里使用术语决策而不使用求解,主要是因为专家系统一般常用于疾病诊断、故障处理方面的应用,包含较多人类的参与,而使用术语求解则比较偏重于自动求解。

撇开具体的应用对象,专家系统的主要任务就是对某一类问题进行分析、决策并给出相应处理措施。这些问题可以是疾

病,也可以是机械故障,还可以是任何其他故障,甚至从表面上看不是故障的问题,如 ELAS 系统处理的钻井数据分析。这里将专家系统所要解决的不同领域的各类问题统一抽象为一般问题。如不特别说明,以后讨论的问题就是指一般问题,简称问题。

人类擅长解决复杂问题,在长期的实践中总结了许多行之有效的方 法,甚至已经形成了一种思维定势。这些解决问题的方法具有一定的共性,具有普遍意义。一般来说,人类在解决问题时主要思考以下问题:

- a) 已经出现了什么现象?
- b) 这些现象与哪些对象有关?
- c) 根据这些现象可以推测出可能出现什么问题? 哪些问题不应该出现?
- d) 为什么会出现这些问题,它们的内在原因是什么?
- e) 怎样去找证据证明自己的猜想,或者否定不应该出现的问题?
- f) 问题出现了,它会带来什么样的影响,即会对其他的对象产生怎样的影响,或产生新的问题?
- g) 怎样处理已经出现了的问题?
- h) 怎样预防一些问题的发生?

人类就是通过反复地思考这些问题,不断地对相关问题进行分析与决策,最终达到问题的解决。显然,无论人类需要解决的具体问题是怎样的,解决问题的总体思路总是一致的。所以可将专家系统的任务都归结为对一般问题的分析与决策。

2 传统专家系统结构与运行分析

2.1 专家系统的结构与运行

不同的专家系统,其功能与结构都不尽相同,但一般都包括人机接口、推理机、知识库及其管理系统、数据库及其管理系统、知识获取机构、解释机构这六个部分。一般的专家系统体系结构可以用图 1 描述。

- 专家系统各部分模块的功能阐述如下:
- a) 知识库,即规则库,主要用产生式方法记录各种规则。知识库是专家系统的基础,负责存储和管理专家系统中的知识。
 - b) 推理机。它是专家系统的核心,由一组计算机程序组成,主要功能是决定如何选用知识库中的知识以推出新知识。
 - c) 综合数据库或全局数据库。综合数据库存放专家系统中反映系统当前状态的事实数据,它们是系统操作的对象,是在推理过程产生的中间数据。综合数据库中数据的表示和组织与知识库中知识的表示和组织具有相容性,使推理机能方便地使用知识库中的知识和综合数据库中的事实对问题求解。
 - d) 人机界面。它是人与计算机交互的通道,负责将用户输入的信息转换成系统内规范化的表示形式,并将这些内部表示交给相应的模块去处理,同时将推理的结果及时反馈给用户。
 - e) 知识获取程序。主要用于知识库的构建,即将知识转换为计算机可利用的形式送入知识库。
 - f) 解释程序。用于对推理行为作出解释,主要回答用户提出的“为什么”等问题。一般是通过跟踪并记录推理过程来实现解释功能。

2.2 主要缺陷

传统的专家系统是从人工智能的一个主要组成部分,特别强调从数学和计算机理论角度上考虑系统的结构和运行机制,而不太重视从专业应用和人类处理一般问题方法的角度来设计专家系统。尽管专家系统绕过了人工智能研究领域的一些难点问题,但仍然存在一定的难点问题,限制了专家系统的广泛应用。

通过对专家系统的结构和运行方式进行分析,可以发现传统的专家系统在知识表示和管理及推理方面均存在一定的缺陷。

- 1) 知识表示和管理缺陷
 - a) 人员要求缺陷。专家系统一般采用产生式知识表示方法进行描述。虽然大多数专家系统的开发可以采用许多性能优良的专家系统开发工具,但仍然要求系统开发者具备较强的人工智能理论水平和计算机开发应用水平,熟悉人工智能语言如 Lisp、Prolog 语言。系统的开发也离不开知识工程师,从而极大地限制了专家系统的应用。
 - b) 知识库管理缺陷。使用这些人工智能开发语言也不利于知识的管理。系统开发者必须仔细地构建知识库,维护知识库的一致性,减少知识之间的冲突。虽然目前已有许多系统采用数据库系统进行知识的管理,但大部分仍然仅用于简单存储规则知识,不能有效发挥数据库的功能。从应用的效果看,专家系统的规则数量不宜太多。
 - c) 知识关系缺陷。一般情况下是不区分问题的现象与因果关系之间差别的,它们都被统一称为知识库中的规则或知识。事实上,问题的因果关系才是真正影响问题的产生和变化的主要因素,而现象只是问题的表现,只有抓住了因果关系才可以正确、有效、高速地解决问题。
- 2) 推理缺陷
 - a) 过分强调计算机的能力。推理过程中知识的匹配和冲突消解问题是专家系统中推理的根本问题,直接影响了推理的效率,甚至使系统陷于瘫痪,这也是目前专家系统不容易解决较大问题的一个重要原因。这个问题是专家系统的固有问题,也是人工智能所固有的问题,因为推理本身就是知识的搜索、匹配过程,容易出现组合爆炸。在目前的人工智能水平上完全的机器推理仍然是一个难以解决的问题。
 - b) 不支持思维过程的反复性、跳跃性。将推理过程分为正向推理和反向推理以及混合推理,过分强调推理的形式,不区分问题的现象和原因,从而加大了用户的使用要求和系统的开发难度。而事实上人类的思维过程是一个不断反复的过程,强调的是问题之间的因果联系而不是推理形式。
 - c) 缺乏强有力的解释功能。一般来说,推理的运行是一种黑箱操作过程,用户完全在计算机的引导下进行操作,不明白系统究竟是如何运行的,只有在推理结束后才能通过解释机制获得问题的解答。这样进行推理对许多用户来说很多步骤其实是没有必要的,既增加了系统开发难度,又浪费了用户的宝贵时间。

3 系统总体设计

3.1 设计思想

为了克服传统专家系统的缺陷,应该从两方面着手。一方

面将专家系统的处理能力定位在专用的问题分析与决策功能上,而不是通用的人工智能问题的分析与求解,这样便于专家系统应用领域的知识系统构建;另一个方面就是设计合理的运行机制,使专家系统更符合人们的使用习惯。设计思想的核心就是必须充分考虑与人类的问题分析与求解方法有机结合,发挥普通人的主观能动性。

在设计面向一般问题分析与决策专家系统时应该重点考虑以下内容:

- a) 确定问题对象;
- b) 确定问题所涉及的对象和问题发生时所出现的现象;
- c) 确定问题对象与所涉及对象和问题现象之间的关联关系;
- d) 确定问题对象之间的因果关系;
- e) 提供基于问题对象和问题因果关系的推理机制;
- f) 支持现象对问题的辅助推理机制;
- g) 提供与推理过程相伴的解释机制;
- h) 适合一般问题的分析与求解。

3.2 基本组成部分

本系统中主要由以下几部分组成:

a) 问题对象,简称问题,用于描述客观事物。问题对象可以是具体的,也可以是抽象的。本系统中所有的知识或规则表示和推理均是以问题对象为基本单元建立的,即知识系统或知识库中知识的核心表现形式是问题对象。

b) 基本对象,也称问题主体对象。任何问题都是在一定数量的基本对象上发生的,而每一个基本对象又存在若干个不同问题。在一般情况下基本对象不可再分。

c) 问题现象对象,简称问题现象。描述问题发生时应该会出现的现象。问题现象是问题的表现形式,也是人们对问题的最基本认识。在许多情况下也是人们对问题进行诊断的依据。

d) 因果关系。问题对象之间存在因果关系,因果关系是问题产生的根本原因。知识系统中的因果关系是一种复杂的网状结构,但对于某一个具体问题对象来说,因果关系表现为一棵树,所以常常被称为因果树。同样也是由于因果关系才使现象具有一定的继承性,即在许多情况下问题对象一般也具有它的原因对象所具有的现象。

e) 问题处理方法或措施。每一类问题都有对其进行处理的方法或措施。这里将对某类问题进行处理的方法或措施分为两类:(a) 正确的处理方法或措施,也称为预防措施;(b) 产生后应该采取的方法或措施,也称为补救措施。

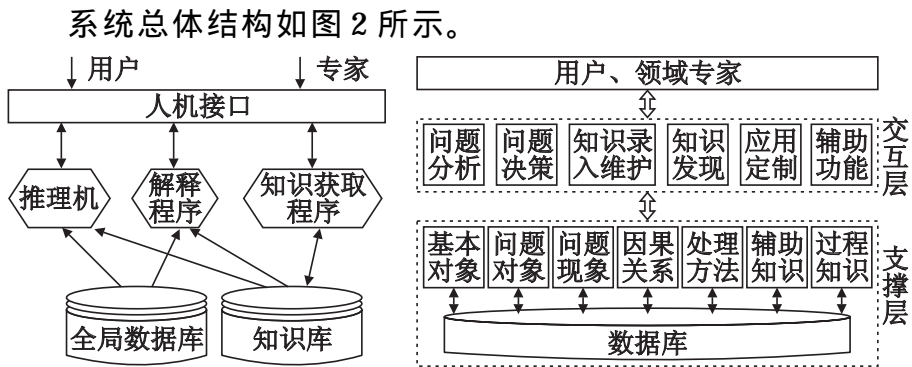
f) 问题事实。如果一个问题存在了,则称该问题为问题事实,即已经确定的问题。问题事实是推理的出发点和归结点。

g) 过程知识。主要用于描述问题分析与决策先后次序的知识。

h) 原理叙述性知识,也是知识的主要组成部分。由于专家系统解决问题的针对性,不可能将所有的知识全部问题化处理,只能以叙述性方式(如文件、音像、动画、三维造型等)展现。

所有这些基本组成对象都是系统知识的基本组成部分。其中因果关系描述的是知识之间的动态组成关系,用因果网络来记录,而其余各种组成部分构成描述知识系统的静态特性,则统一存放在知识字典中。

3.3 总体结构



系统分为上下两层:上层是系统交互层,主要是供用户和领域专家使用;下层是系统支撑层,提供基础知识表示和推理功能。

- 支撑层各模块功能如下:
- a) 问题对象模块。用于管理智能系统中的核心对象即问题对象。
 - b) 基本对象模块。管理问题对象所涉及的相关基本对象。
 - c) 问题现象模块。管理问题所表现的现象。
 - d) 因果关系模块。用于管理问题对象之间存在的因果关系。
 - e) 处理方法模块。提供针对某类问题所应该使用的处理方法。
 - f) 辅助知识模块。用于描述在解决问题过程中可以作为参考的知识。
 - g) 过程知识模块。提供对于特定应用领域问题分析与决策的过程知识,以利于用户尽快发现问题。
- 交互层主要提供与用户交互的各类模块,并通过与支撑层核心模块进行数据交换来进行问题的分析与决策。交互层的主要模块有:
- a) 问题分析模块。描述问题的因果关系、相关影响对象(包括基本对象和问题对象)、相应的处理方法等。
 - b) 问题决策模块。通过对问题的分析及获得的已经存在的问题信息,求解出将会出现的问题,并提出应该采取的措施。
 - c) 知识录入和维护模块。知识录入就是将新的领域专家知识加入到智能系统中,主要指智能系统初始化阶段的数据处理和知识的添加处理。知识维护主要提供当智能系统中知识发生改变时保证知识之间的一致性和完整性的一些操作。
 - e) 知识发现模块。用于新知识的发现。
 - f) 应用定制模块。当系统应用于不同领域时用于修改交互界面,使之符合新的应用要求。
 - g) 辅助功能模块。提供问题分析与决策的辅助功能,如基本原因查找、推理过程的解释、报表打印等。

4 知识表示

4.1 基本思路

选择合适的知识表示方法是智能系统设计与开发的关键问题。目前常用的知识表示方法有逻辑表示(如一阶谓词逻辑)、语义网络、框架表示、过程表示、产生式表示等。

通过长期的研究和实践,人们发现产生式表示法或规则表示法在专业领域人工智能系统应用中具有开发方便、使用简便、可以被其他领域使用等突出的优点,可以充分利用专家的知识 and 经验,适合于构建应用于特定领域的专家系统,因此得

到最广泛应用。Newell 和 Simon 在著名的《人类问题求解》这本书中从理论上证明了大部分人类问题求解或认知可以通过产生式规则表达。

产生式表示便于知识的表示和推理机的设计,还可以附加可信度因子进行不精确推理,但存在效率不高、解释能力受限等缺点。通过对专家系统的任务进行分析可以发现:专家系统的根本任务在于为人们提供一种分析问题和解决问题的能力,而不是局限于某种知识表示方法的应用。因此专家系统首先应该研究一般问题分析与决策的特征和方法,然后针对这些特征和方法采用更加方便的知识表示方法,以降低领域专家的应用难度,提高专家系统的开发速度和可靠性。

在设计面向问题分析与决策的智能系统时应该把握一般问题分析与决策过程的以下基本几个特征:

- a) 现象是问题的表现形式。许多问题可以通过现象来确定,但现象只是问题的表现形式,不能单纯依靠现象来确定问题。现象与问题之间是否建立等价关系应该根据应用的要求来确定,并需要在构建知识系统时加以保证。
- b) 因果关系决定问题的本质。只有抓住了问题的因果关系才可能准确地确定问题,因此因果关系处于优先地位。当然,由于因果关系是隐藏在问题内部的,对问题的确定仍然离不开现象的检查。
- c) 问题求解过程的反复性和复杂性。思维的过程是一种反复寻找证据和论证的过程,也是一个不断假设和论证的过程,还可能是一个思维跳跃的过程。

4.2 知识单元

支持问题分析与决策的知识表示是以问题对象为中心建立的,可以表述为:问题对象是知识表示的核心;问题总是与一定的对象相关;问题的表现形式是现象;问题的成因是它的各种原因;各种相关原理和过程知识对问题分析与决策提供辅助支持。根据文献[1, 2] 提出的广义环图树方法给出了图 3 所示的面向问题分析与决策智能系统知识单元表示,整个知识由这些知识单元组合而成。

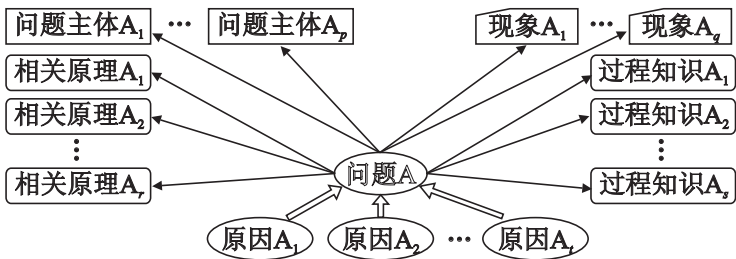


图3 知识单元

4.3 知识字典

知识字典用于描述知识系统中所有的对象,包括问题对象、基本对象、问题现象对象、原理知识对象和过程知识对象。

- 知识字典主要包含以下三方面内容:
- a) 对象名称。它是各种对象的表示,在定义时尽量应该与自然语言一致。例如基本对象应该完全是代表一件事物的简单名词或名词组合,如马达或步进马达,而问题对象则应是在基本对象上的限定或描述,如马达烧毁。
 - b) 对象类型。表明对象所属类型。这里的类型有五种,即问题对象、基本对象、问题现象对象、原理知识对象和过程知识对象。
 - c) 对象描述。用于解释字典中所定义的对象。一般用文字进行描述,也可以用图像、声音等多媒体方式表达。

知识字典是建立各种对象之间关系的基础,这样所有的知识单元就可以通过知识字典构建复杂的知识关系。

4.4 简单相关关系

知识字典主要用于描述静态对象,只有建立这些对象之间的关系才能构成知识系统。从图 3 可看出,知识系统可以分为两类关系,一类关系是简单相关关系,如图 3 中单线所描述的关系;另一类是因果关系,如图 3 中双线所描述的关系。

简单相关关系主要包括基本对象与问题对象关系、问题对象与问题现象关系、问题对象与原理知识关系、问题对象与过程知识关系四种关系。

1) 基本对象与问题对象关系

定义基本对象与问题对象之间的关系。一个问题对象可能与多个基本对象相关,而一个基本对象也可能在多种问题对象中出现,它们之间是多对多的关系。例如 SARS 是一种问题对象,而与这种问题对象相关的有人的肺部、SARS 病毒等;反过来说,人的肺部可以感染肺气肿、肺结核,也可能感染 SARS 等。

2) 问题对象与问题现象关系

定义问题对象与问题现象之间的关系。同基本对象与问题对象之间关系一样,它们之间也是多对多的关系。

3) 问题对象与原理知识关系

描述问题对象所涉及的有关原理知识、国家标准等叙述性知识。

4) 问题对象与过程知识关系

描述问题对象分析、决策、处理等方面的过程性知识,如怎样检查问题、怎样进行操作等知识。

4.5 因果关系

知识系统呈现出一种非常复杂的、动态变化的知识网络结构。其中,表示问题产生的因果关系起着非常重要的作用。因果关系是推理的重要依据,对因果关系进行有效的管理和应用是专家系统运行的前提条件。

人类在处理复杂事务时常采用条理化方法,例如通过对专业知识进行条理化来编写专业教科书。知识条理化的本质就是使问题层次化、简单化,抛开无关的信息,提高处理的效率。

知识条理化最常用的对象主要包括问题主体对象和问题对象。问题主体对象的条理化便于建立主体之间的从属关系,而问题对象的条理化便于问题的求解,所以在面向问题的分析与决策专家系统中主要进行问题对象条理化,即建立问题之间的因果关系。

从整体上看,因果关系是网状的,但就某一个对象及其原因而言,因果关系可以是一棵树,即因果树。换句话说,因果树是知识系统的一个局部快照,它表示了知识系统中的一部分,如图 4 所示。

因果关系还必须包含与或关系,表示若干个原因与结果之间的关系。因此因果树是一棵与或树。图 4 中带箭头的线表示“或”的关系,而弧线连接的线段表示“与”的关系。例如问题 A 是由 B、C、D 共同决定,而 H、I、J 中只要有一个发生 C 就必然发生。

因果关系是人们对自然根本原理的认识,体现出问题对象的可分解性。因果关系分解的终止条件是与应用有关的,例如当检测设备故障时停电就是一个不可再分的问题,而当供电公司检查供电故障时停电就是一个结果,必须进行再分以确定停

电的原因。

5 运行机制

人工智能系统的核心是推理即如何通过已有的知识推出新的知识,也称为知识的求解。在专家系统中,已知前件得到后件的推理称为正向推理,反过来则称为反向推理。然而人类的推理过程并不是简单的正向或反向推理,如前所述,人类的推理或思考过程其实是一个复杂的反复过程,即不断交替进行正向推理和反向推理的过程。

推理的复杂性主要来源于两个方面: a) 实际问题的复杂性; b) 推理方式的复杂性。在思维过程中一般的推理都包含正向推理和反向推理过程,而且正向推理和反向推理的切换是随机的,单纯的正向推理或反向推理一般出现在证明过程已经完成以后的表达中,如定理的证明通常只写出最后的证明过程,无须写思考过程。

推理的复杂性极大地降低了专家系统推理效率。对于专家系统而言,克服推理复杂性的最有效方法是使专家系统的运行与人们在日常生活中处理问题的分析与决策方法一致,即提供面向问题分析与决策的支持。

系统提供问题分析机制、问题决策机制、解释机制和其他机制,通过可视化交互界面实现自由的推理过程,完成问题的分析与决策。

5.1 问题分析机制

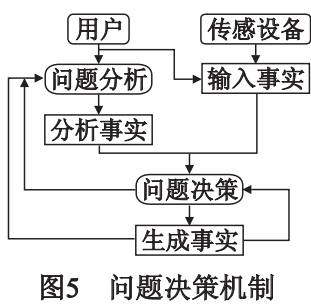
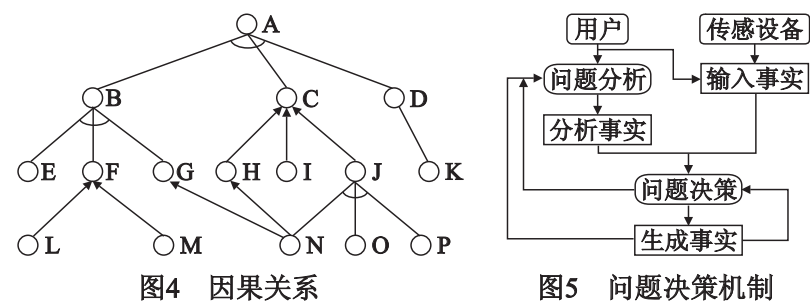
问题分析机制是系统提供的帮助用户对问题进行深入了解的运行机制。主要过程包括:

- a) 了解问题的症状。揭示问题发生和不发生时的现象。
 - b) 了解问题的成因。告诉用户为什么会发生这样的问题,具有哪些影响因素,这些因素是怎样起作用的等等。
 - c) 了解问题的预防措施。采用什么样的方式可以预防问题的发生。
 - d) 了解问题的补救措施。当问题发生以后应该采取什么样的补救措施,又会形成哪些新的问题。
 - e) 问题分析过程是一个递归过程,直到用户满意为止。
- 显然,问题分析过程也是一种学习过程,是对问题的一种了解,无须对问题作决策。

5.2 问题决策机制

问题决策机制是帮助用户对问题进行决策的运行机制,即通过对问题进行分析或者采集问题事实,最后推出新的问题事实。因此推理过程又可称为获得问题事实的过程。

问题决策机制可以用图 5 加以描述。



问题事实的产生可以有以下几种方式:

- a) 分析事实。用户通过使用问题分析机制确定某项问题的出现。
- b) 输入事实。是用户输入的已经发生的问题对象,或传感器等采集并直接转换的问题事实。

c) 生成事实。由系统经过推理得到的新问题称为生成事实。生成事实来源有两个,一个是某个问题的所有现象得到满足;另一个是因果关系得到满足。当产生生成事实的原因不存在时,该生成事实也应该被删除。

5.3 解释机制

解释机制是对推理过程和结果的解释。可以有两种方式,即将推理过程的全部过程按顺序展现出来和按因果关系展现出来。前者可以通过记录所有的推理过程得到,这样得到解释可能会显得比较零乱;后者则忽略具体的推理过程,而只是对推理的结果加以解释。这是一种经过整理后的解释,对整理思维过程比较好。

本系统主要支持后一种解释机制,因为用户在进行问题分析及决策的过程中已经对自己的推理过程比较熟悉,而对推理结果的解释则有利于用户整理思路,抓住问题的本质。

5.4 其他机制

由于问题领域的复杂性,在系统使用过程中还需要提供许多运行机制帮助用户有效地进行问题的分析与决策。主要提供以下机制:

- a) 过程指导。严格地说,问题之间并不仅仅只有因果关系,还存在时间顺序关系。在许多情况下顺序关系可能更重要。过程指导机制就是向用户提供一种过程描述,指导用户按顺序去进行问题分析与决策。
- b) 原理指导。在进行问题分析与决策时会查阅大量的资料,如在进行产品设计时需要查阅大量的国家标准,由于这些资料内容太多、涉及面太广,不太容易选入专家系统。这时就可以文本方式或链接方式连入智能系统,以提高用户的问题分析与决策能力。

6 实例

使用 Visual C++ 6.0 和 ADO 开发了面向问题的分析与决策智能系统作为专家系统的外壳。然后使用专家系统外壳和问题分析与决策方法结合公路工程质量智能分析与诊断专家系统研究课题研究和开发了面向公路质量问题的分析与决策智能系统。

在该系统中将公路质量问题作为问题的核心,围绕公路工程质量问题定义了与之相关的基本对象,建立公路工程质量问题因果树,设计了公路工程质量问题分析与决策运行机制及其他辅助运行机制。

专家系统知识体系的构建按照以下流程进行:编制有关公路工程质量技术方面的字典,包括基本对象、公路工程质量对象及其现象的定义,确定当前的公路工程质量问题,选择与当前公路工程质量问题相关的基本对象,建立当前公路工程质量问题的因果树,给出当前公路工程质量问题的处理方法。

这样专家系统的开发就转换成了公路工程质量专家对本专业领域知识的整理工作,既降低了专家系统使用和开发的难度,也消除了领域专家与计算机专家沟通障碍,使领域专家基本上可以独立完成专家系统的构建。

7 结束语

专家系统是一种以专家的知识 and 经验为基础建立的应用于专业应用领域人工智能系统,它的重点应该是 (下转第 3653 页)

将划分基本模块特征语句、基本模块编号、入口语句行号和出口语句行号信息保存在数据库文件中, 为插桩语句的位置确定提供详细信息, 以便动态测试时统计程序实际的执行情况。

在模块关联图上, 分析程序中所有可能的执行路径有四条, 分别为 $P_1 = B_0, B_1$, $P_2 = B_0, B_1, B_2, B_3, B_4, B_8$, $P_3 = B_0, B_1, B_2, B_3, B_5, B_6, B_8$, $P_4 = B_0, B_1, B_2, B_3, B_5, B_7, B_8$ 。以此为依据, 设计四个测试用例 testcase1、testcase2、testcase3、testcase4, 如下所示:

```
#testcase 1 系数为 0
# xpected: 无输出
D: \ . . . . . \testcase \equation. c
equation " a, b, c: x1, x2" 0, 7, 1
#testcase2 两个实根
# expected: x1 = 9, x2 = - 1
D: \ . . . . . \testcase \equation. c
equation " a, b, c: x1, x2" 1 - 8 - 9 9 - 1
#testcase 3 一个实根
# expected: x1 = x2 = - 1
D: \ . . . . . \testcase \equation. c
equation " a, b, c: x1, x2" 1 2 1 - 1 - 3
#testcase 4 两个虚根
# expected: x1 = - 1/2 + 3i, x2 = - 1/2 - 3i
D: \ . . . . . \testcase \equation. c
equation " a, b, c: x1, x2" 1, 1, 1 1 - 1
```

这一组测试用例有可能一些执行正确, 一些执行错误。对每一个测试用例, 在第一轮的测试过程中, 记录程序实际执行时所运行的基本模块编号, 得到一组实际执行的模块序列, 如测试用例 testcase3 预期的执行路径为 $P_3 = B_0, B_1, B_2, B_3, B_5, B_6, B_8$, 但是运行程序后, 检测到实际的模块执行序列为 $B_0, B_1, B_2, B_3, B_4, B_8$ 。实际执行结果与预期结果不相符, 比较后发现模块 B_3 发生错误。这时, 以 B_3 模块为出发点, 根据模块关联图逆向遍历找出其直接相关联的模块 B_2 和 B_4 ; 正向遍历

找出其直接影响的模块 B_5 , 与此不相关的模块则忽略不计。当程序员修改 B_3 时, 就应充分考虑这三个模块会不会因修改而受到影响。当进行回归测试时, 笔者只需重新测试那些受修改影响的程序部分。在此例中, 重新执行所有的四个测试用例是完全没有必要的, 并且从测试代价上讲也不可能, 受到 B_3 修改影响的测试用例只有 { testcase2, testcase3, testcase4 }, 只有这些测试用例才需要在回归测试中重新执行, 因此只需运行 { testcase2, testcase3, testcase4 } 即可, 这样就减少了重复测试的工作量。

5 结束语

本文提出一种基于关联模式的软件测试方法, 使程序易于分析、理解和维护, 可以帮助程序员在尽可能短的时间内快速、准确地定位出错模块或是找出出错模块的存在范围, 加深程序员对程序内容、结构及功能等方面的理解, 提高测试效率。

参考文献:

[1] 李必信, 方祥圣, 袁海, 等. 一种基于程序切片技术的软件测试方法[J]. 计算机科学, 2001, 28 (12) : 97-101.

[2] 龚晓洁. 逆向工程中动静态结合分析目标系统的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2007.

[3] 孙继荣, 李志蜀, 王莉, 等. 程序切片技术在软件测试中的应用[J]. 计算机应用研究, 2007, 24 (5) : 210-213.

[4] 蒋曹清, 张大方, 缪力. 一种回归测试后的错误定位方法[J]. 计算机工程与科学, 2005, 27 (4) : 14-15.

[5] WONG W E, QI Yu. An execution slice and inter-block data dependency-based approach for fault localization[C] //Proc of the 11th Asia-Pacific Software Engineering Conference. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2004: 366-373.

(上接第 3649 页) 有效地进行知识应用, 尽量减少专家系统本身在进行知识推理过程中的复杂度。问题分析与决策方法是人类长期以来积累的、已形成思维定势并且具有强大作用的思维方法, 对于解决复杂问题具有相当强的优势。将问题分析与决策方法应用于专家系统得到面向问题分析与决策的智能系统不仅可以有效地解决专家系统的运行效率, 而且具有相当的普遍性; 不仅可以成为一种非常有效的专家系统外壳, 使面向问题分析与决策专家系统的开发不再需要知识工程师的参与, 而且可以作为内核应用于其他类型的专家系统开发。

事实上, 面向问题分析与决策专家系统还具有其他许多优点, 如引入思维模式可以避免出现一般专家系统推理过程中常见的知识冲突问题, 变交互推理为自动推理等。如果考虑现象的不确定性, 也可将其应用于不确定问题的求解。

参考文献:

[1] 尹文生. 基于广义环图树的装配模型[J]. 华中理工大学学报, 1999, 27 (8) : 1-3.

[2] 尹文生. 支持自顶向下设计的装配建模研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 1998.

[3] STANOJEVIC M, VRANES S. Knowledge representation with SOUL

[J]. Expert Systems with Applications, 2007, 33 (1) : 122-134.

[4] RAO P M, MILLER D M, LIN Bin-shan. PET: an expert system for productivity analysis [J]. Expert Systems with Applications, 2005, 29 (2) : 300-309.

[5] LIU Duen-ren, KE C K. Knowledge support for problem-solving in a production process: a hybrid of knowledge discovery and case-based reasoning[J]. Expert Systems with Applications, 2007, 33 (1) : 147-161.

[6] PIRES T T. A knowledge representation model for the nuclear power generation domain[J]. Data & Knowledge Engineering, 2007, 63 (2) : 270-292.

[7] HUNG H F, KAO H P, JUANG Y S. An integrated information system for product design planning[J]. Expert Systems with Applications, 2008, 35 (1-2) : 338-349.

[8] XU W L, KUHNERT L, FOSTER K, et al. Object-oriented knowledge representation and discovery of human chewing behaviours[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2007, 20 (7) : 1000-1012.

[9] CHENG Min-yuan, HUANG Chin-jung. Value-added treatment inference model for rule-based certainty knowledge[J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34 (2) : 1250-1265.