

第五部分 专家控制

专家系统是人工智能的一个重要分支。自1968年世界上研制第一个专家系统 **DENDRAL** 以来，专家系统技术已经获得了非常迅速地发展，广泛应用于医疗诊断、图像处理、石油化工、地质勘探、金融决策、实时监控、分子遗传工程、教学、军事等多领域中，产生了巨大的社会效益和经济效益，同时也促进了人工智能基本理论和基本技术的发展。

一、专家系统概述

1、什么是专家系统

专家系统的奠基人费根鲍姆（E.A. Feigenbaum）认为：“专家系统是一种智能的计算机程序，它运用知识和推理步骤解决只有专家才能解决的复杂问题”。

专家系统是一个智能程序系统：具有相关领域内大量的专家知识；能应用人工智能技术模拟人类专家求解问题的思维过程进行推理，解决相关领域内的困难问题，并且达到领域专家的水平。

专家系统所要解决的问题一般没有算法解，并且经常要在不完全、不精确或不确定的信息基础上做出结论。

2、专家系统的特点

(1) **启发性**。专家系统能运用专家的知识与经验进行推理、判断和决策。

(2) **透明性**。专家系统能够解释本身的推理过程和回答用户提出的问题，以便让用户能够了解推理过程，提高对专家系统的依赖性。

(3) **灵活性**。专家系统能不断地增长知识，修改原有知识，不断更新。由于这一特点使得专家系统具有十分广泛的应用领域。

- (4) 能根据不确定（不精确）的知识进行推理，善于解决那些不确定性的、非结构化的、没有算法解或虽有算法解但在现有的机器上无法实施的困难问题。
- (5) 能高效率、准确、周到、迅速和不知疲倦地进行工作；解决实际问题时不受周围环境的影响，既不可能遗漏忘记又便于推广珍贵和奇缺的专家知识与经验。

3、专家系统的类型

(1) 按用途分类

可分为：诊断型、解释型、预测型、决策型、设计型、规划型、控制型和调度型等几种。

(2) 按输出结果分类

可分为：分析型、设计型、综合型专家系统。

(3) 按知识表示分类

可分为：基于产生式规则的专家系统、基于一阶谓词的专家系统、基于框架的专家系统以及基于语义网络的专家系统。也存在相应的综合型专家系统。

(4) 按知识分类

可分为：精确推理型和不精确推理型（如模糊专家系统）。

(5) 按技术分类

可分为：符号推理专家系统、神经网络专家系统。

(6) 按规模分类

可分为：大型协同式专家系统、微专家系统。

(7) 按结构分类

可分为：集中式和分布式，单机型和网络型（即网上专家系统）。

4、专家系统与知识工程

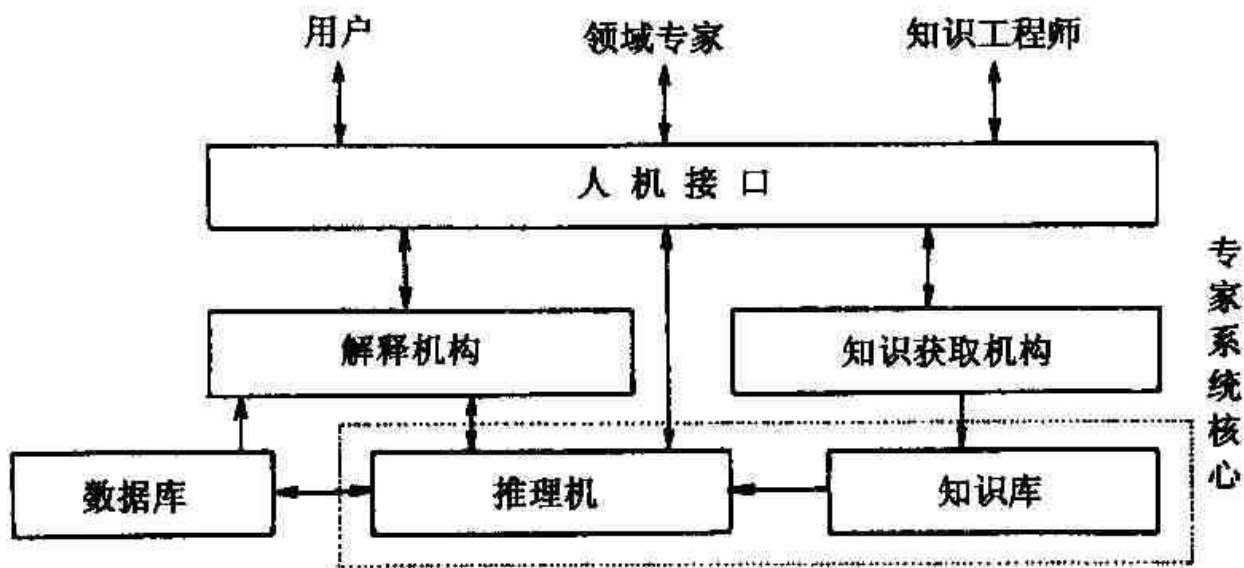
专家系统是基于知识的系统，则建造专家系统就涉及到**知识获取**、**知识表示**、**知识的组织与管理**和**知识的利用**等一系列关于知识处理的技术和方法，特别是一般知识库系统的建立，更加促进了这些技术的发展。

关于知识处理的技术和方法已形成了一个称为“**知识工程**”的学科领域。专家系统一方面促使了知识工程的诞生和发展，另一方面知识工程又是为专家系统服务的。由于二者的密切关系，“专家系统”与“知识工程”现在几乎已成为同义语。

二、专家系统的结构与工作

1、专家系统的一般结构

从专家系统的概念可知，专家系统的主要组成部分是知识库和推理机。不同的专家系统其功能和结构有可能不同，但一般都应包括人机接口、推理机、知识库、动态数据库、知识获取机构和解释机构这六个部分，如图所示。



2、专家系统的工作原理

专家系统的核心是知识库和推理机，其**工作过程**：
根据知识库中的知识和用户提供的事实进行推理，不断地由已知的前提推出未知的结论即中间结果，并将中间结果放到数据库中，作为已知的新事实进行推理，从而把求解的问题由未知状态转换为已知状态。

在专家系统的运行过程中，会不断地通过人机接口与用户进行交互，向用户提问，并向用户做出解释。

1) 知识库

建立领域专家提供的知识库必须解决以计算机能够存储的形式来表达知识。

(1)知识表达方法的选择，应从以下4个方面进行考虑：

- ①充分表示领域知识。
- ②能充分、有效地进行推理，不仅可确保推理的正确性，而且还可提高推理的效率。
- ③便于对知识的组织、维护与管理。在进行知识的维护与管理中，要确保知识的一致性、完整性。
- ④便于理解与实现。

(2) 知识库管理。知识库管理系统负责对知识库中的知识进行组织、检索和推理等。

2) 推理机

推理机是专家系统的“思维”机构，是构成专家系统的核心部分。它能根据当前已知的事实，利用知识库中的知识，按一定的推理方法和控制策略进行推理，求得问题的答案或证明某个假设的正确性。

推理方法包括精确推理和不精确推理。

控制策略主要指推理方向的控制及推理规则的选择策略。

推理机的性能与构造一般与知识的表达方法有关，但与知识的内容无关，这有利于保证推理机与知识库的独立性，提高专家系统的灵活性。

3) 知识获取机构

知识获取是建造和设计专家系统的关键。

基本任务是：把知识输入到知识库中，并负责维护知识的一致性和完整性，建立起性能良好的知识库。

4) 人机接口

人机接口是**专家系统与领域专家、知识工程师、一般用户间进行交互的界面**，由一组程序及相应的硬件组成，用于完成输入输出工作。

领域专家或知识工程师通过它输入知识，更新完善知识库；一般用户通过它输入欲求解的问题、已知的事实以及向系统提出的询问，或者系统向用户索取进一步的事实。

随着计算机硬件和自然语言理解技术的发展，有的专家系统已可用简单的自然语言与系统交互。但有的系统只能通过菜单方式、命令方式、简单的问答方式与用户进行交互。

5) 数据库

数据库又称为“黑板”、“综合数据库”或“动态数据库”，主要用于存放用户提供的初始事实、问题描述及系统运行过程中得到的中间结果、最终结果等信息。

数据库的内容是不断变化的。在求解问题的开始时，用来存放用户提供的初始事实；在推理过程中，它存放每一步推理所得的结果。推理机根据数据库的内容从知识库选择合适的知识进行推理，然后又把推出的结果存入数据库中。

6) 解释机构

解释机构回答用户提出的问题，解释系统的推理过程使系统对用户透明。

解释机构由一组程序组成，它能跟踪并记录推理过程，当用户提出的询问需要给出解释时，它将根据问题的要求分别作相应的处理，最后把解答用约定的形式通过人机接口输出给用户。

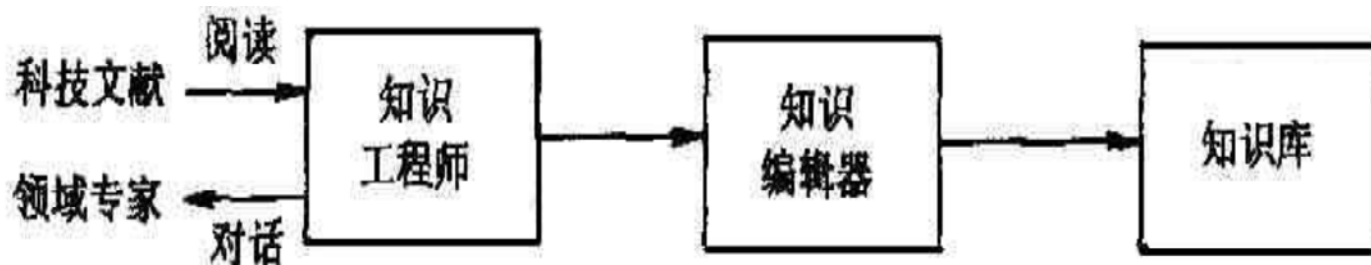
上面所讨论的专家系统只是它的基本形式，在具体建造时，随着系统的要求不同，可在此基础上作适当修改。

三、知识的获取

1、知识获取的方式

(1) 非自动知识获取

非自动知识获取方式分两步进行：①由知识工程师从领域专家或有关的技术文献那里获取知识；②由知识工程师用某种知识编辑软件输入到知识库中，其工作方式如图所示。



非自动方式是专家系统建造中用得较为普遍的一种知识获取方式，知识工程师起着关键作用，其主要任务是：

- ① **组织调查。**以反复提问的方式启发领域专家按知识处理的要求回答问题，并详细记录专家的答案。
- ② **理解和整理材料。**在充分理解的基础上对从领域专家处或书本上得到的答案进行选择整理、分类、汇集并形成用自然语言表达的知识条款。
- ③ **修改和完善知识。**把整理分类好的知识条款反馈给领域专家，进行修改、完善和精化，最终的结果要得到领域专家的认可。
- ④ **知识的编码。**把最终由专家认可的知识条款按一定的表达方式或知识表示语言进行编码，得到知识编辑器所能接受的知识条款。

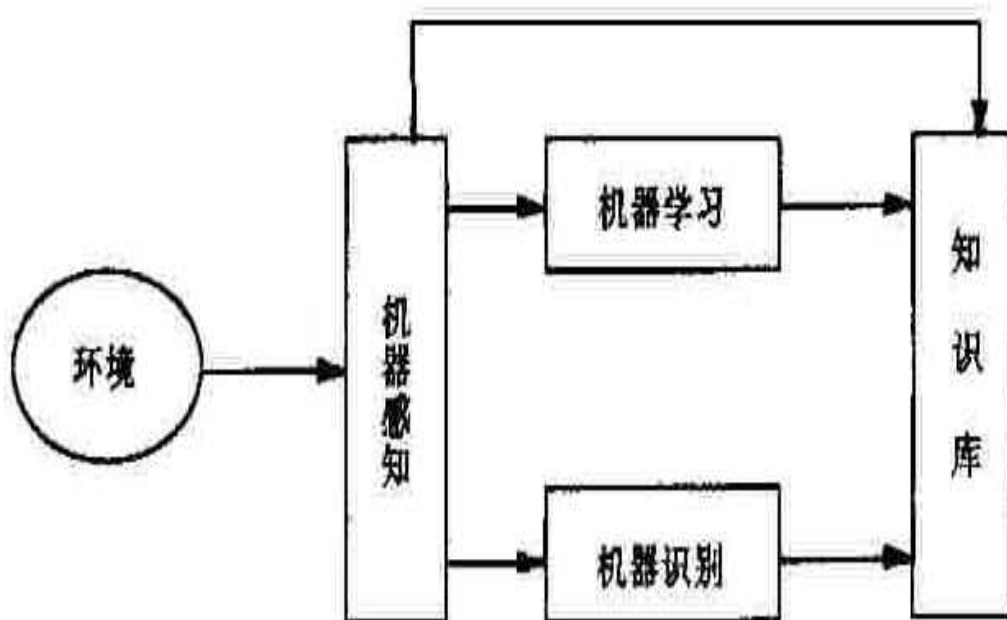
知识编辑器是一种用于知识输入的软件，包括以下一些功能：

- ① **语法检查**。即编辑器使用语法结构知识来帮助用户以正确的拼写格式输入规则。
- ② **一致性检查**。检查输入的规则和数据是否与系统中已存在的知识相矛盾；报告产生错误的原因。
- ③ **自动簿记**。记录用户对规则修改的相关信息。
- ④ **知识抽取**。帮助用户将新知识输入到系统中去。

(2) 自动知识获取

自动知识获取就是让计算机自动从环境中获取知识。要实现完全自动的知识获取，涉及机器感知（如计算机视觉与听觉）、机器识别和机器学习等研究领域的问题。

右图给出了完全自动的知识获取的过程框图。

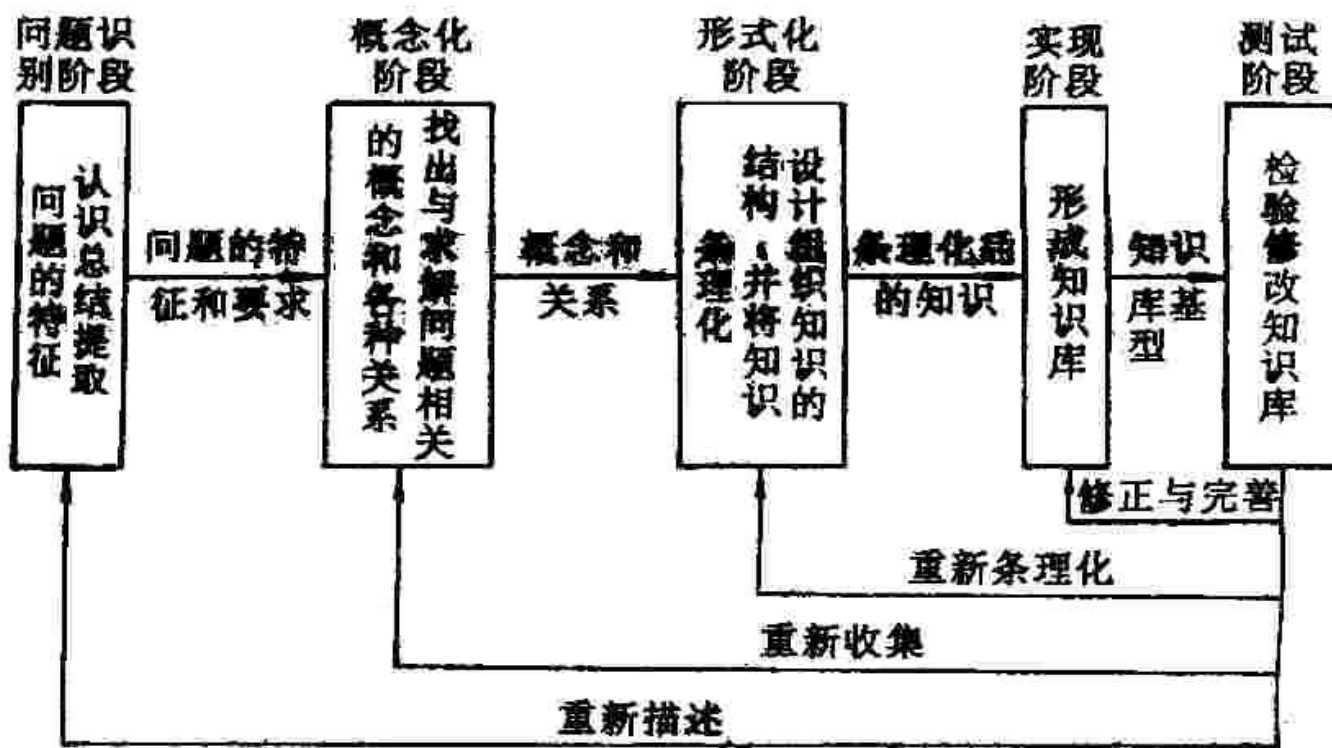


由机器感知接受外部环境的信息（语言、文字、图像等），经过感知系统的初步处理后，可得到一些简单的事实性知识。

若要得到进一步的知识，必须经过机器学习系统和机器识别系统处理。经过机器识别系统处理后可以得到信息的分类知识、信息的特征以及信息的结构知识等。而机器学习系统可以提供更高层次的知识，它可以根据环境信息形成概念，进行归纳推理、文法推断、假设猜想乃至科学发现等一系列高层次的知识。机器学习是一门研究机器获取新知识和新技能，并识别现有知识的学问。这里所说的机器就是指计算机。

2、知识获取的步骤

知识获取是一个不断循环和不断完善的过程，应当分阶段完成。下图给出了知识获取过程的分阶段流程图。从图中可以看出，整个知识获取由五个阶段(步骤)构成，即问题识别、概念化、形式化、实现和测试。



(1) 问题识别阶段

主要任务是对问题的各主要方面进行了解，通过认识和分析问题，建立一些基本概念和术语，了解问题所涉及到的各个子问题及其相互间的关系，在概括性全面了解的基础上确定信息源。在把握知识库规模、范围和目标的基础上，总结和提取问题的基本特征和要求。

(2) 概念化阶段

把上一阶段确定的一些对象、概念、术语及相互之间的关系等加以明确定义；为原始系统建立必要的永久性的概念集。知识工程师应尽力设想一些描述问题的思路 and 手段，把领域专家所关注的或知识源所涉及的对象、概念及其相互关系和信息流向搞清楚，把领域知识抽取出来。

(3) 形式化阶段

形式化阶段是把概念化阶段总结出来的各种知识进行提炼、组织，形成合适的结构和规则等，继而再将其映射到该问题所选定的知识表示框架中，转化成一种最终可由知识处理系统所能接受的知识表示形式。

(4) 实现阶段

在这一阶段中，要求知识工程师将已形式化的知识通过编辑器输入到计算机中去，形成知识库外部形式的基础。具体任务可分为：

- ① 设计知识库的结构，便于修改和补充。
- ② 排除知识库的各种描述及表达上的错误。如格式、语法错误等，同时也要注意排除知识库中的不一致性、矛盾性和冗余性，从而形成一个尽可能完整的知识库模型。
- ③ 将知识库的外部形式进行编译、形成知识的内部形式。

(5) 测试阶段

在这一阶段中，要将实现阶段所完成的基型知识库装入智能系统中试运行，结合实例运行验证，逐步消除知识库中不一致、冗余和矛盾的知识，并对知识库进行修改、扩充和完善，直至达到满意的效果为止。

四、专家系统的建造与评价

1、专家系统的建造原则

(1) 恰当地划定求解问题的领域

专家系统总是面向某一问题领域的，如何恰当地确定问题领域呢？可从以下两个方面进行考虑：

- ①**系统的设计目标。**系统的设计目标是确定问题求解领域的基本出发点。
- ②**领域专家的知识及水平。**专家系统知识的质量与数量客观上受到领域专家知识面及水平的制约。

(2) 获取完备的知识

所谓完备的知识是指其数量能满足问题求解的需要，质量上要保证知识的一致性及完整性等。

(3) 知识库与推理机分离

知识库与推理机分离这不仅便于对知识库进行维护管理，而且可把推理机设计的更灵活，便于控制。

(4) 选择、设计合适的知识表示方式

一方面应充分考虑领域问题的特点，使之能将领域知识充分地表示出来；另一方面应把知识表示方式与推理模型结合起来，使两者能密切配合,高效地对领域问题进行求解。

(5) 推理应能模拟领域专家求解问题的思维过程

能模拟专家求解问题的独特思维方式，从而能象专家那样利用知识、思维判断，一步步求得问题的解。

(6) 建立友好的交互环境

建立适于用户方便使用的友好接口。用户可通过它与系统对话，求解需要解决的问题，领域专家也可用它来充实、完善知识库。

(7) 渐增式的开发策略

通常采用渐增式的开发策略，先建立一个专家系统原型，对系统采用的各种技术进行实验，在取得经验的基础上再实现实用的专家系统。

2、专家系统的建造步骤

(1) 设计初始知识库

知识库的设计是建立专家系统最重要和最艰巨的任务。初始知识库的设计包括：

① **问题知识化**。辨别所研究问题的实质，如要解决的任务是什么，它是如何定义的,可否把它分解为子问题或子任务,它包括哪些典型数据等。

② **知识概念化**。概括知识表示所需要的关键概念及关系，如数据类型、已知条件(状态)和目标(状态)、提出的假设以及控制策略等。

③ **概念形式化**。确定用来组织知识的数据结构,应用人工智能中各种知识表示方法把与概念化过程有关的关键概念、子问题及信息流特征等变换为比较正式的表达,它包括假设空间、过程模型和数据特性等。

④ **形式规则化**。编制规则，把形式化了的知识变换为由编程语言表示的可供计算机执行的语句和程序。

⑤ **规则合法化**。确认规则化了的知识的合理性,检验规则的有效性。

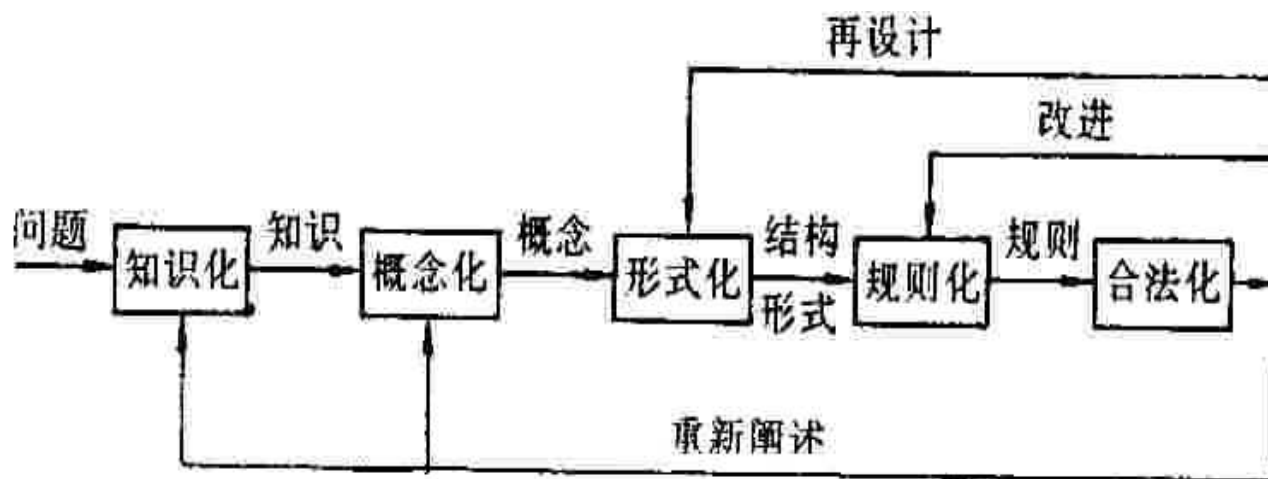
(2) 原型机的开发与实验

在选定知识表示方法后，即可着手建立整个系统所需要的实验子集，它包括整个模型的典型知识，而且只涉及与实验有关的足够简单的任务和推理过程。

(3) 知识库的改进与归纳

反复对知识库及推理规则进行改进实验,归纳出更完善的结果。经过相当长时间(例如数月至二三年)的努力,使系统在一定范围内达到人类专家的水平。

这种设计与建立步骤如图所示。



3、专家系统的评价

设计和建立一个专家系统是一个通过考虑下述问题,对系统不断地进行评价的过程:

- ① 所用的知识表示方法是否合适,或它是否需要扩展或修改?
- ② 这个系统能否进行正确的推理并提供准确的答案?
- ③ 存入系统的知识是否和专家的知识一致?
- ④ 使用者需要系统提供什么方便和要求系统具有什么能力?
- ⑤ 使用者和系统相互联系是否方便?

(1) 专家系统的评价方法

① “轶事”的方法。该方法简单地启发式利用一组例子来说明系统的性能，描述在哪些情况下系统工作良好。

② 实验的方法。该方法强调用实验的方法来评价系统在处理各种储存在数据库中的问题事例时的性能。

(2) 专家系统的评价内容

1) 知识的完备性

① 是否具有完善的知识。② 其知识是否与领域专家的知识保持一致。③ 知识是否一致、完整，即是否存在冗余、矛盾和环路等问题。

2) 表示方法及组织方法的适当性

- ① 能否充分表达领域知识，尤其是对不确定性知识的表示是否准确、合理。
- ② 是否有利于对知识的利用，有利于提高搜索及推理的效率。
- ③ 若问题领域要求用多种方式表示知识，则其表示方法与组织方法是否便于对这种知识的表示与组织。
- ④ 是否便于对知识的维护与管理。

3) 求解问题的质量

一般有两种衡量标准：一种是准确率；另一种是符合率。

4) 系统的效率

系统的效率是指系统运行时对系统资源的利用率以及时、空开销。

5) 人机交互的便利性

为了设计出方便的人机接口，在系统设计之前就要对用户的情况进行了解，听取他们的意见，设计并实现他们认为方便的接口方式。

6) 系统的研制时间与效益

一个专家系统的研制时间应与系统的规模、复杂性相适应，一般说来一个专家系统都要经过一个团队的研制和一定时间的使用才能成为一个实用的系统。

所谓“效益”是指社会效益及经济效益两个方面。