



第7章 智能系统

第19讲 专家系统



第19讲 专家系统

在智能科学技术发展早期，比较典型的综合性应用成果之一，就是专家系统。

专家系统是利用人工智能方法与技术开发的一类智能程序系统，主要是模仿某个领域专家的知识经验来解决该领域特定的一类专业问题。

其基本原理是通过利用形式化表征的专家知识与经验，模仿人类专家的推理与决策过程，从而解决原本需要人类专家解决的一些专门领域的复杂问题。



1、结构知识表示

构造专家系统关键在于知识的获取、表示和利用。一般传统专家系统中的知识主要指支持智能推理的必要信息。

因此，专家系统所要表征的知识，具有符号知识的特点：

- (1) 基本的符号单元；
- (2) 满足复合律；
- (3) 可变换操作性。

而对知识的获取、表示与利用，关键是知识表示。



1、结构知识表示

所谓知识表示就是关于支持智能专家系统的各种信息集合的组织和操作方法。

这里组织是指从静态内容结构的角度看待知识表示，称之为结构性知识、叙述性知识；

而操作则是指从动态处理功能的角度看待知识表示，称之为过程性知识、程序性知识。

对于一种成熟的知识表示方法，组织与操作这两个方面缺一不可，并且往往是相互关联的。



1、结构知识表示

迄今为止，在符号逻辑计算框架内业已发展出众多的方法来表示知识，归纳起来主要有：状态空间、与或图、谓词逻辑、产生式、语义网、框架、脚本、对象、信念网、知识网、概念依存网等等。

这些方法的共同之处都注意到知识之间千丝万缕的联系，强调知识之间的关联性。

不同方法的差异则主要体现在表示知识复杂性维度、表示知识的范围、表示知识的精度、面向编程实现的程度以及知识表示的风格等之上。



1、结构知识表示

所谓**结构性知识表示**方法，就是指将有关领域的**知识**，连同其相互**关系**，用**显式**的方法，加以系统地描述。

因为任何知识都不是孤立的，知识表示必须能够反映知识之间千丝万缕的结构联系，强调知识之间的**结构关联性**。

结构知识表示主要具有如下五个特点：

- (1) **易于修改**：知识的修改不涉及处理机制；
- (2) **引用方便**，可应用于多重目标；
- (3) **易于扩展**，知识单元相对独立；
- (4) **支持元机制使用**；
- (5) **应用范围广泛**，并方便与过程性知识相结合。6



1、结构知识表示

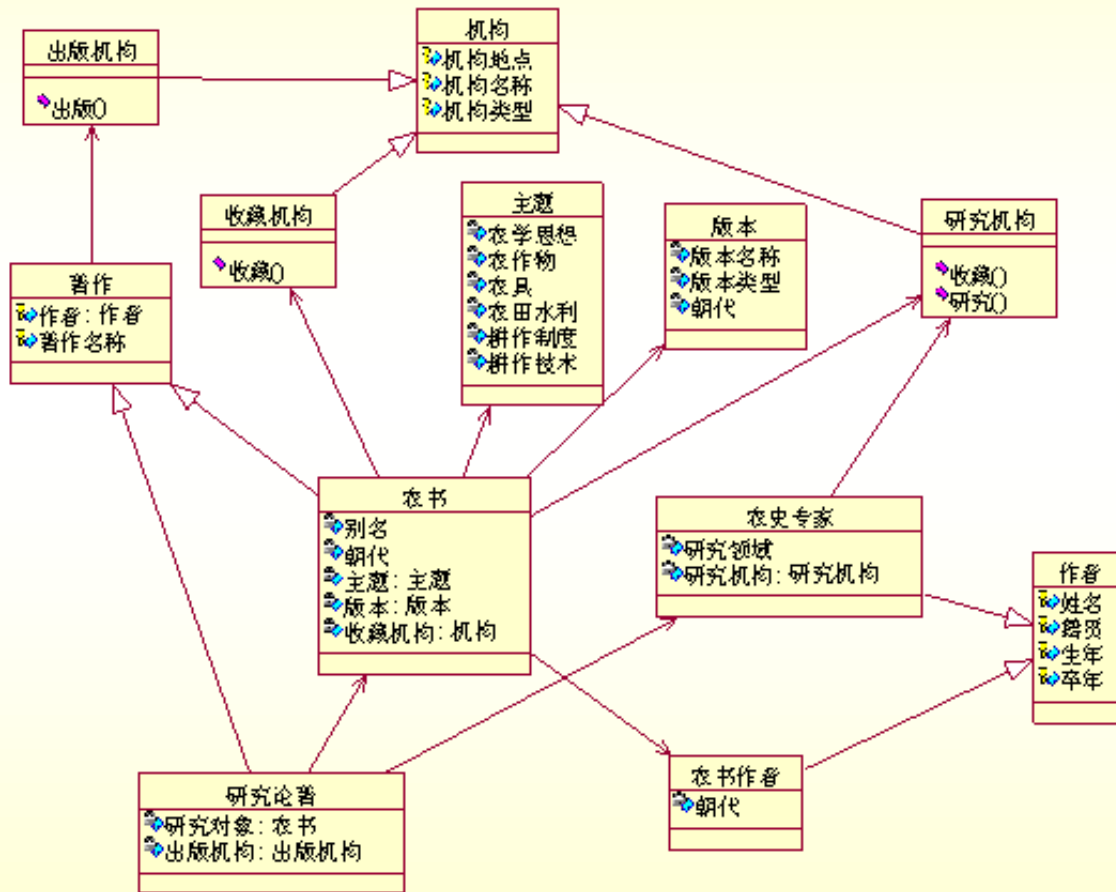
早期人工智能较有影响的一种结构知识表示模型就是语义网模型。

语义网是一种直接面向概念及其关系的知识网络结构，便于编程实现。最初用于以自然方式模拟人类理解和使用自然语言而设计的，强调知识概念之间丰富的相互连接结构，知识的每个元素都是处在各种不同的关系之中。

形式上讲，一个语义网是一种表示知识的图结构：节点代表概念内容，如：“医生”、“凳子”、“鸟”等等；弧（有向边）表示概念之间的语义关系，如“是一个”、“属于”、“之父”等等，相当于一些逻辑谓词。



1、结构知识表示



关于农书概念的语义网实例



1、结构知识表示

除了语义网之外，早期用于自然语言处理的知识表示方法还有**框架**和**脚本**等图式之类的知识表示方法。这些知识表示方法的**共同**之处就是他们同样基于知识的**联合性质**，将相关要素汇成**知识结构**。

目前这类**知识结构单位**往往被称为**对象**，均是面向编程的知识表示方法。不过，由于这些知识结构仅仅是描述要素构成的知识，一旦层层无限展开，那么其复杂性就与智能推理要求的流畅性相违背；而如果仅仅作粗略描述又不可能贴切给出事物知识的详尽描述。



2、过程知识表示

除了面向知识内容结构的表示方法，在早期知识表示方法的研究中，也还有面向功能过程的知识表示方法。这种表示将知识表示为一组处理算子或规则，这些算子或规则又往往在一定的状态条件下才能起用，结果则改变当前的状态条件。

例如，众所周知的产生式系统就是这类知识表示方法的典范。



2、过程知识表示

在基于逻辑符号主义的专家系统中，主要的过程知识表示方法具体有：

- (1) 逻辑公理系统方法，像命题逻辑、谓词逻辑、各种非经典逻辑等；
- (2) 产生式系统方法，如半图厄过程、产生式规则、POST机等；
- (3) 句法系统方法，如乔姆斯基形式语言谱系、各种自然文法描写等。

因此，过程知识表示方法在专家系统研究中同样有着举足轻重的地位。



2、过程知识表示

所谓过程知识表示，是指将有关领域的知识，连同其使用方法，均隐式地表达为一个求解问题的过程。过程知识表示主要具有如下三个特点：

- (1) 知识隐含于使用知识的程序之中；
- (2) 使用效率高；
- (3) 对执行机制有很强的依赖性。

例如，众所周知的产生式系统就是这类知识表示方法的典范。



2、过程知识表示

产生式系统的核心概念是产生式规则，主要用来表示事物之间的启发关联性，基本形式为：

$P \Rightarrow Q$ ，读作IF P THEN Q

其中P为条件，Q为执行的动作。



2、过程知识表示

对于一个产生式系统，其主要由三个部分构成：

有一个表示系统当前状态的**工作区**；

有一个**规则集**，其中每条规则都用上述形式来描述；

有一个**控制器**，循环以工作区中的当前状态数据去匹配满足条件的规则，然后执行所选规则的操作，结果则更新了工作区的状态数据，然后再重复这一过程，直到不再有规则满足工作区的状态数据为止。

这种产生式知识表示方法在专家系统研制中发挥了巨大作用，因此也产生了广泛的影响。



2、过程知识表示

作为符号逻辑方法比较成熟的知识表示体现，基于各种逻辑的知识表示方法，由于同时能兼顾内容结构和过程处理两个方面，因此在以符号逻辑假设的人工智能研究中一直处于主导地位。

用一定的逻辑表达式不仅可以通过描述知识事实来建立知识库，而且这样的知识库也便于进行有效的推理处理。

特别是随着非单调逻辑、缺省推理逻辑、反事实推理和认知逻辑等用于描述日常知识的长足发展，这种方法在经典人工智能研究中也越来越得到广泛应用。



2、过程知识表示

兼顾**内容结构**和**过程处理**两个方面的另一种知识表示方法，就是**面向对象技术**的知识表示方法。

面向对象的知识表示方法主要采用对象技术来进行知识表示，**知识单元是对象**，故而得名。对象表示法因而也是一种**混合知识表示法**（非纯过程性的，也非纯结构性的）。

所谓**对象**是一种**主体—动作**模式，不同的主体采用不同的动作模式，过程性知识主要体现在动作模式之中。



2、过程知识表示

对象知识表示方法的主要特点：

- (1) 便于模块化、分类处理；
- (2) 强调对象之间的相互联系（如继承关系）；
- (3) 易于编程实现；
- (4) 方便多态性界面实现；
- (5) 结构性：也是一种结构性知识表示方法。

应该说，面向对象的知识表示方法已经成为最便于编程实现的知识表示方法，有着广阔的发展空间。



2、过程知识表示

知识表示问题一直是人工智能研究的核心问题之一。

原则上，只要兼顾知识的描述和推导两方面的功能实现，那么上述知识表示方法都可以用于专家系统的构造。

甚至可以根据所采用的知识表示方法对专家系统进行分类，如基于逻辑表征的专家系统之类。



3、构建专家系统

自从美国斯坦福大学于1965年开发出第一个化学结构分析专家系统DENDRAL以来，各种专家系统层出不穷，已经遍布了几乎所有专业领域，成为应用最为广泛、最为成功、也最为实效的智能系统。



3、构建专家系统

专家系统主要有这样一些特点：

(1) 专家系统主要是运用[专家的经验知识](#)来进行推理、判断、决策，从而解决问题，因此可以启发帮助大量非专业人员去独立开展原本不熟悉的专业领域工作；

(2) 用户使用专家系统不仅仅可以得到所需要的[结论](#)，而且可以了解获得结论的[推导理由与过程](#)，因此比直接与一些古怪的人类专家咨询来得更加方便、透明和信赖；

(3) 作为一种人工构造的智能程序系统，对专家系统中的知识库的维护、更新与完善更加[灵活迅速](#)，可以满足用户不断增长的需要。



3、构建专家系统

一般专家系统的基本结构如图所示。在专家系统中，核心问题是知识的表示、获取与运用问题。

在经典人工智能研究中，

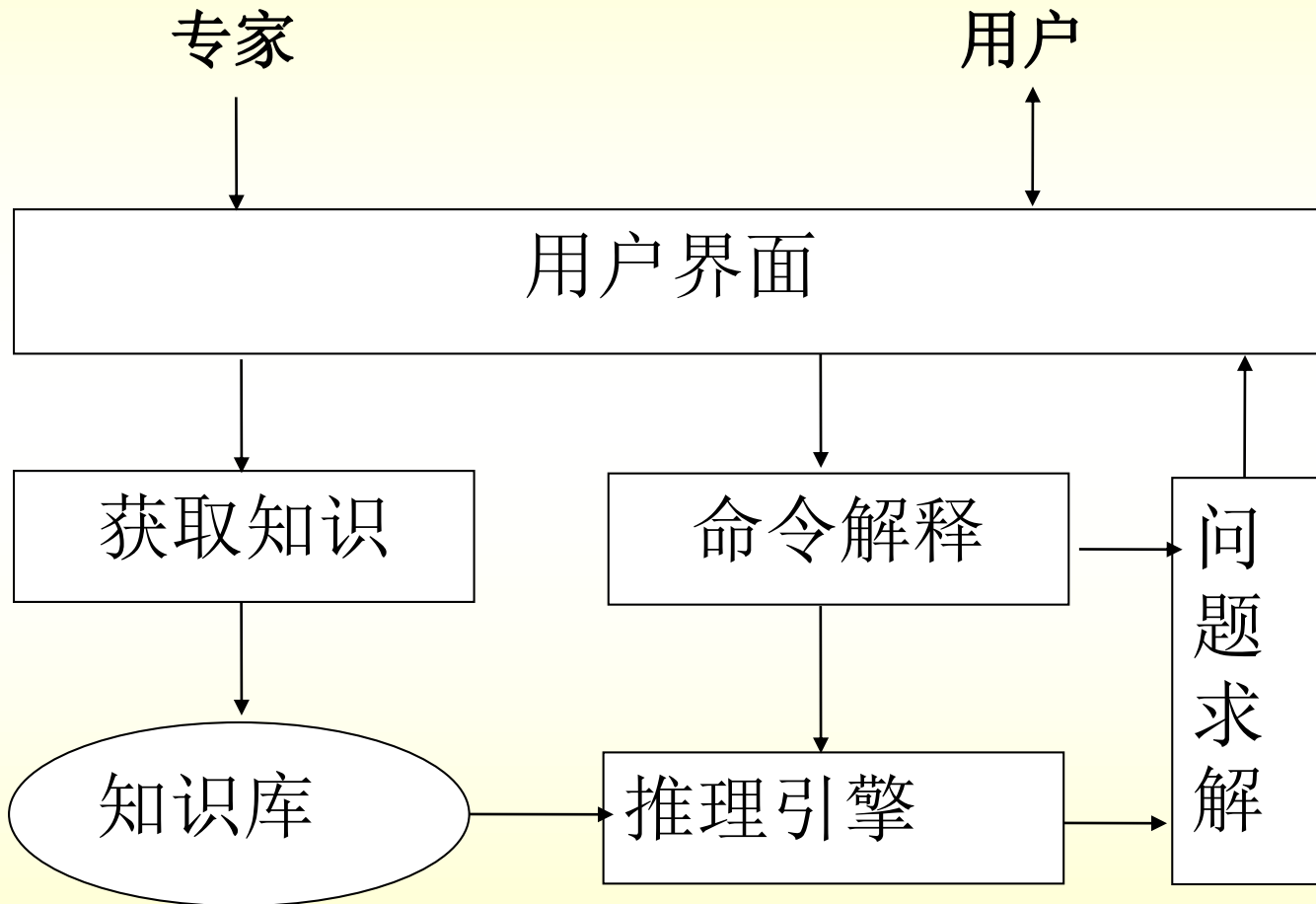
1、知识的表示方法主要状态空间、产生式、脚本、语义网络、框架、逻辑表达式、依存关系等；

2、知识获取方法主要是各种机器学习策略决定的，经典的有归纳学习、示教学习、实例学习、顿悟学习，以及非经典的各种软计算方法；

3、至于知识的运用，则主要取决于推理引擎的构建策略，大致有前向驱动、后向驱动以及混合驱动等。



3、构建专家系统



专家系统基本结构图



3、构建专家系统

以产生式系统为例，整个推理引擎由这样三个部分组成：

(1) **状态集合**：在环境中可能发生的所有状态集，包括**开始状态、中间状态和目标状态**，推理过程就是要从给定的开始状态，找出达到目标状态的推理步骤（路径）。

(2) **规则集合**：对状态进行各种**可能变换的规则集合**，在产生式系统中，这样的规则均用**产生式形式**来表示：<前提条件，执行操作>。

(3) **控制策略**：这部分是来解决如何使用规则的组织策略的（前向、后向、混合），以及遇到多条满足当前条件的规则时，如何进行取舍等。



3、构建专家系统

此外，系统中还需要设置：

当前工作区，记录每时每刻系统状态的变化，

初始值为开始状态，

中间值为推导过程中的中间结果，

最终值应该就是目标状态。如果推导成功的话。

通常可以采用一种搜索空间的搜索树描述方法来刻画专家系统求解问题的推理过程。又如在问题求解一讲中介绍的那样。



3、构建专家系统

通常产生式专家系统的主要控制步骤有：

- (a) **匹配**：选择与当前工作区条件相匹配的规则（包括合一匹配），作为**备选启用**规则；
- (b) **冲突解决**：如果备选启用规则不唯一，则应按照国家策略来选择最终执行规则。一般解决冲突的策略有：**最先策略、最优策略、全选策略等**。
- (c) **执行**：执行选中规则的操作部分，经过操作后，将改变当前工作区的事实数据。
- (d) **结果**：重复上述步骤，直到不再有条件相匹配的规则为止，最后当前工作区的事实数据即为解结果。
- (e) **优先策略**：采用优先策略解决冲突有许多具体的排序方法。



3、构建专家系统

总之，专家系统的主要功能包括：

- (1) **存储知识**：具有存放专门领域知识的能力；
- (2) **描述能力**：描述问题求解过程中涉及到的中间过程；
- (3) **推理能力**：具备解决问题所需要的推理能力；
- (4) **问题解释**：对于求解问题与步骤能够给出合理的解释；
- (5) **学习能力**：能够具备知识的获取、更新与扩展的能力；
- (6) **交互能力**：提供专家或用户良好的人机交互手段与界面。



3、构建专家系统

根据目前已有开发的、数量众多、应用广泛的专家系统求解问题的性质不同，可以将专家系统大致分为如下7类。

(1) **解释型专家系统**：主要任务是对**已知信息和数据**进行分析与解释，给出其确切的涵义。应用范围包括语音分析、图像分析、电路分析、化学结构分析、生物信息结构分析、卫星云图分析、各种数据挖掘分析等。

(2) **诊断型专家系统**：主要任务是根据观察到的数据情况来**推断**出观察对象的病症或故障以及原因，主要应用范围有医疗诊断（包括中医诊断）、故障诊断、软件测试、材料失效诊断等。



3、构建专家系统

(3) **预测型专家系统**：主要任务是通过对过去与现状的分析，来推断未来可能发生的情况，比如气象预报、选举预测、股票预测、人口预测、经济预测、交通路况预测、军事态势预测、政治局势预测等等。

(4) **设计型专家系统**：主要任务是根据设计目标的要求，求出满足设计问题约束条件的设计方案或图纸，比如集成电路设计、建筑工程设计、机械产品设计、生产工艺设计、艺术图案设计等。

(5) **规划型专家系统**：主要任务是寻找某个实现给定目标的动作序列或动态实施步骤，比如像机器人路径规划、交通运输调度、工程项目论证、生产作业调度、军事指挥调度、财务预算执行等。



3、构建专家系统

(6) **监视型专家系统**：主要任务是对某类系统、对象或过程的动态行为进行实时**观察与监控**，发现异常及时发出警报，比如生产安全监视、传染病疫情监控、国家财政运行状况监控、公共安全监控、边防口岸监控等。

(7) **控制型专家系统**：主要任务是全面**管理受控对象**的行为，使其满足预期的要求，如空中管制系统、生产过程控制、无人机控制等。

其他还有调式型、教学型、修理型等类型的专门的专家系统，我们就不再一一介绍了。



3、构建专家系统

专家系统与一般应用程序的主要区别在于：

专家系统将应用领域的问题求解知识独立形成一个知识库，可以随时进行更新、删减与完善等维护，这样就可以充分运用人工智能有关知识表示技术、推理引擎技术和系统构成技术；

而一般应用程序不同，其将问题求解的知识直接隐含地编入程序，要更新知识就必须重新变动整个程序，并且难以引入有关智能技术。



3、构建专家系统

正因为专家系统有这么多的优点，随着其技术的不断进步，应该范围也越来越广阔。实际上，自从上个世纪70年代专家系统诞生以来，已经广泛应用到科学、工程、医疗、军事、教育、工业、农业、交通等领域，产生了良好的经济与社会效益。为社会技术进步作出了重大贡献。