

人工智能技术

Artificial Intelligence

——人工智能: 逻辑智能+计算智能+学习智能

AI: Logical Intelligence + Computational Intelligence + Learning Intelligence

理论课: 王鸿鹏、王润花、韩明静

实验课: 许丽、靖智博

南开大学人工智能学院



第二部分 经典智能

Classical Intelligence

——第七章：专家系统

Chapter 7: Expert System



费根鲍姆
(Edward Albert Feigenbaum)

“**专家系统**是一种智能的计算机程序，它运用知识和推理来解决只有专家才能解决的复杂问题。”

专家系统：一类包含知识和推理的智能计算机程序。是一个含有大量的某个领域专家水平的知识与经验的智能计算机程序系统，能够利用人类专家的知识 and 解决问题的方法来处理该领域问题。简而言之，专家系统是一种模拟人类专家解决领域问题的计算机程序系统。

专家系统概述

- 专家系统的特点：
 - 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。
 - 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，提高对专家系统的信赖感。
 - 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。

专家系统概述

- 专家系统的优点：
 - 能够高效率、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，也不可能遗漏忘记。
 - 可以使专家的专长不受时间和空间的限制，以便推广珍贵和稀缺的专家知识与经验。
 - 能促进各领域的发展。
 - 能汇集多领域专家的知识以及他们协作解决重大问题的能力。
 - 具有巨大的经济效益和社会效益。
 - 能够促进整个科学技术的发展。

专家系统的类型

- 预测专家系统：
 - 任务：通过对过去和现在已知状况的分析，推断未来可能发生的情况。
 - 特点：系统处理的数据随时间变化，且可能是不准确和不完全，系统需要有适应时间变化的动态模型。
 - 例子
 - 有气象预报、军事预测、人口预测、交通预测、经济预测和谷物产量预测等

专家系统的类型

- 解释专家系统：
 - 任务：通过对已知信息和数据的分析与解释，确定它们的涵义。
 - 特点：数据量很大，常不准确、有错误、不一定能从不完全的信息中得出解释，并能对数据做出某些假设，推理过程可能很复杂和很长。
 - 例子
 - 语音理解、图象分析、系统监视、化学结构分析和信号解释等。

专家系统的类型

- 诊断专家系统：
 - 任务：根据观察到的情况(数据)来推断出某个对象机能失常(即故障)的原因。
 - 特点：能够了解被诊断对象或客体各组成部分的特性以及它们之间的联系，能够区分一种现象及其所掩盖的另一种现象，能够向用户提出测量的数据，从不确切信息中得出尽可能正确的诊断。
 - 例子
 - 医疗诊断、电子机械和软件故障诊断以及材料失效诊断等。

专家系统的类型

- 设计专家系统：
 - 任务：根据给定的产品要求设计产品的一类系统，如建筑设计、机械产品设计等。
 - 特点：从多种约束中得到符合要求的设计；系统需要检索较大的可能解空间；能试验性地构造出可能设计；易于修改；能够使用已有设计来解释当前新的设计。
 - 例子
 - VAX计算机结构设计专家系统等。

专家系统的类型

- 规划专家系统：
 - 任务：寻找出某个能够达到给定目标的动作序列或步骤。
 - 特点：所要规划的目标可能是动态的或静态的，需要对未来动作做出预测，所涉及的问题可能很复杂。
 - 例子
 - 军事指挥调度系统、ROPES机器人规划专家系统、汽车和火车运行调度专家系统等。

专家系统的类型

- 监视专家系统：
 - 任务：对系统、对象或过程的行为进行不断观察，并把观察到的行为与其应当具有的行为进行比较，以发现异常情况，发出警报。
 - 特点：系统具有快速反应能力，发出的警报要有很高的准确性，能够动态地处理其输入信息。
 - 例子
 - 粘虫测报专家系统。

专家系统的类型

- 控制专家系统：
 - 任务：自适应地管理一个受控对象或客体的全面行为，使之满足预期要求。
 - 特点：控制专家系统具有解释、预报、诊断、规划和执行等多种功能。
 - 例子
 - 空中交通管制、商业管理、自主机器人控制、作战管理、生产过程控制和质量控制等。

专家系统的类型

- 调试专家系统：
 - 任务：对失灵的对象给出处理意见和方法。
 - 特点：同时具有规划、设计、预报和诊断等专家系统的功能。
 - 例子
 - 在这方面的实例还比较少见。

专家系统的类型

➤ 教学专家系统：

➤ 任务：教学专家系统的任务是根据学生的特点、弱点和基础知识，以最适当的教案和教学方法对学生进行教学和辅导。

➤ 特点：

- (1)同时具有诊断和调试等功能。
- (2)具有良好的人机界面。

➤ 例子

➤ MACSYMA符号积分与定理证明系统，计算机程序设计语言和物理智能计算机辅助教学系统以及聋哑人语言训练专家系统等。

专家系统的类型

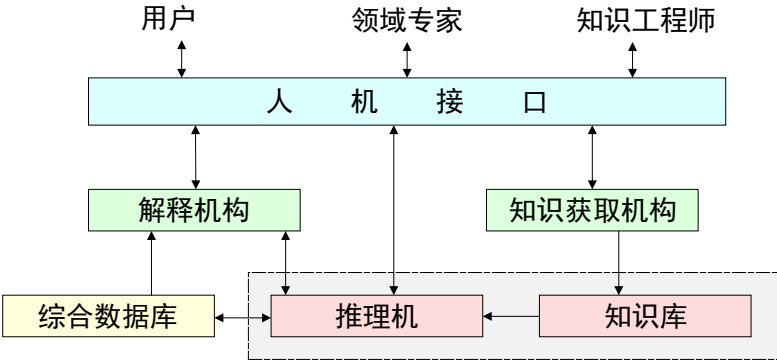
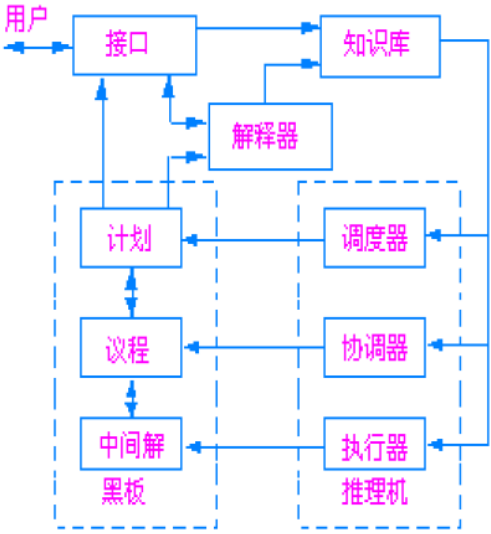
- 修理专家系统：
 - 任务：对发生故障的对象(系统或设备)进行处理，使其恢复正常工作。修理专家系统具有诊断、调试、计划和执行等功能。
 - 例子
 - 美国贝尔实验室的ACI电话和有线电视维护修理系统。
- 此外，还有决策专家系统和咨询专家系统等。



专家系统的结构和建造步骤

理想专家系统的结构

➤ 专家系统的结构是指专家系统各组成部分的构造方法和组织形式。系统结构选择恰当与否，是与专家系统的适用性和有效性密切相关的。选择什么结构最为恰当，要根据系统的应用环境和所执行任务的特点而定。



专家系统核心

对专家系统各部分的解释

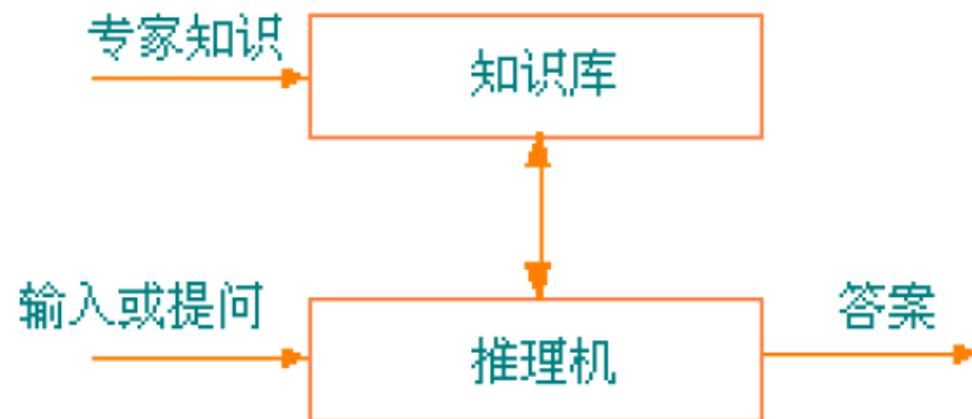
- **接口**是人与系统进行信息交流的媒介，它为用户提供了直观方便的交互作用手段。
- **黑板**是用来记录系统推理过程中用到的控制信息、中间假设和中间结果的数据库。它包括计划、议程和中间解3部分。
- **知识库**包括：已知的同当前问题有关的数据信息；进行推理时要用到的一般知识和领域知识。

对专家系统各部分的解释

- 调度器按照系统建造者所给的控制知识，从议程中选择一个项作为系统下一步要执行的动作。
- 执行器应用知识库中的及黑板中记录的信息，执行调度器所选定的动作。
- 协调器的主要作用就是当得到新数据或新假设时，对已得到的结果进行修正，以保持结果前后的一致性。
- 解释器的功能是向用户解释系统的行为，包括解释结论的正确性及系统输出其它候选解的原因。

专家系统的简化结构

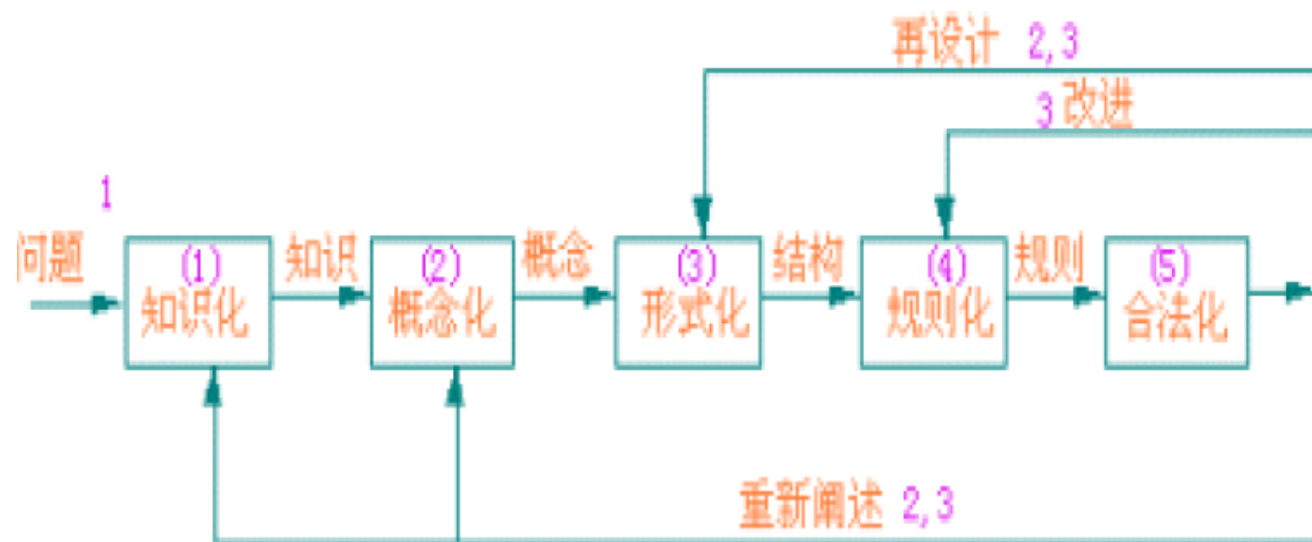
- 如下图所示。由于每个专家系统所需要完成的任务和特点不相同，其系统结构也不尽相同，一般只具有图中部分模块。



一般程序与专家系统的区别

- 前者把问题求解的知识隐含地编入程序，而后者则把其应用领域的问题求解知识单独组成一个实体，即为知识库。知识库的处理是通过与知识库分开的控制策略进行的。更明确地说，一般应用程序把知识组织为两级：数据级和程序级；大多数专家系统则将知识组织成三级：数据、知识库和控制。

建立系统的一般步骤



建立系统的一般步骤

- 设计初始知识库，包括：
- **问题知识化**，即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，它包含哪些典型数据等。
- **知识概念化**，即概括知识表示所需要的关键概念及其关系，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。
- **概念形式化**，即确定用来组织知识的数据结构形式，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、子问题及信息流特性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。
- **形式规则化**，即编制规则、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。
- **规则合法化**，即确认规则化了知识的合理性，检验规则的有效性。

建立系统的一般步骤

- 原型机的开发与试验
- 在选定知识表达方法之后，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，而且只涉及与试验有关的足够简单的任务和推理过程。

建立系统的一般步骤

- 知识库的改进与归纳
- 反复对知识库及推理规则进行改进试验，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。



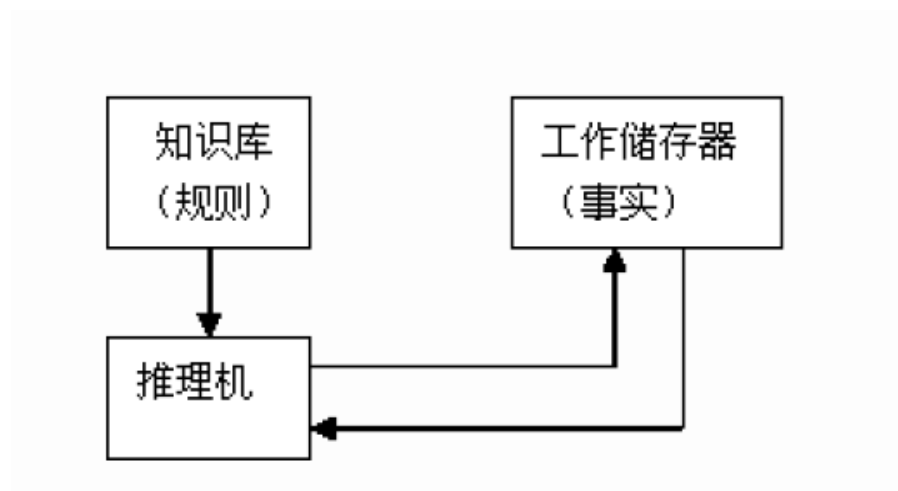
基于规则的专家系统

基于规则专家系统的工作模型

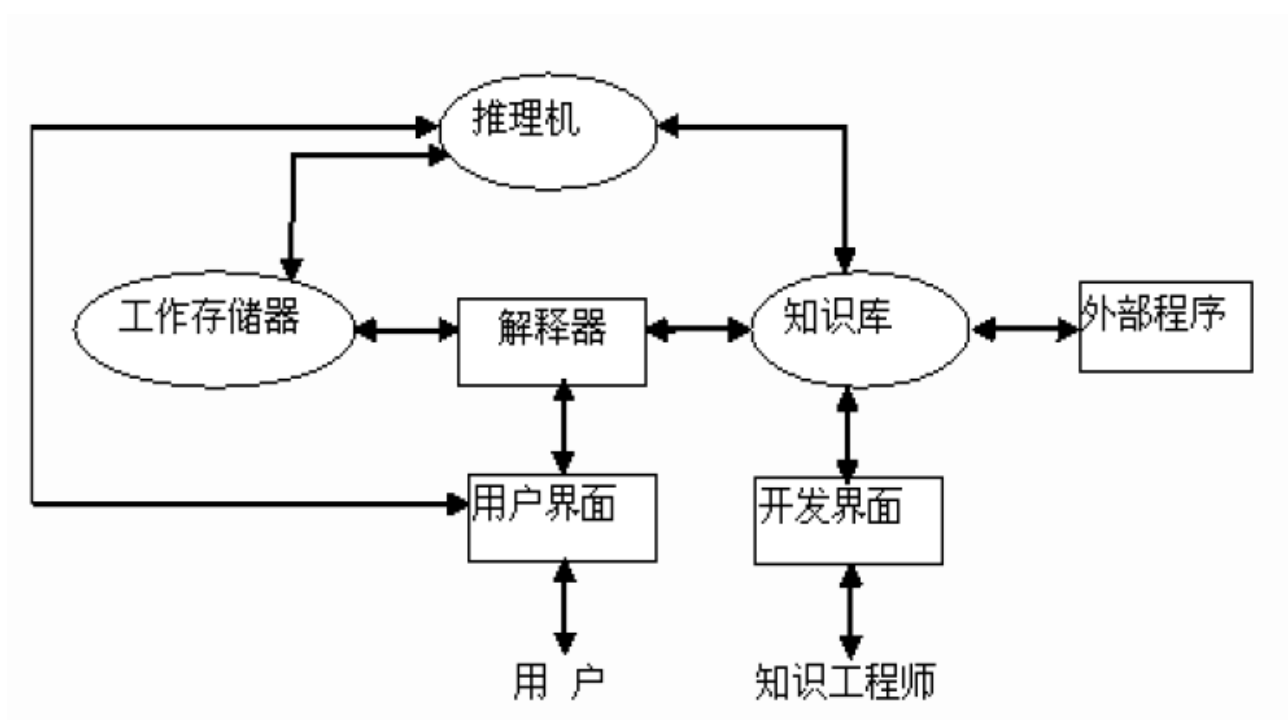
- 基于规则的专家系统是个计算机程序，该程序使用一套包含在知识库内的规则对工作存储器内的具体问题信息（事实）进行处理，通过推理机推断出新的信息。

基于规则专家系统的工作模型

- 基于规则的专家系统不需要一个人类问题求解的精确匹配，而能够通过计算机提供一个复制问题求解的合理模型。



基于规则专家系统的完成结构



基于规则专家系统的结构

- 知识库、推理机和工作存储器是构成本专家系统的核心。
- 系统的主要部分是知识库和推理引擎。
- 知识库由谓词演算事实和有关讨论主题的规则构成。
- 推理引擎由所有操纵知识库来演绎用户要求的信息的过程构成——如消解、前向链或反向链。
- 用户接口可能包括某种自然语言处理系统。
- 解释子系统分析被系统执行的推理结构，并把它解释给用户。

基于框架的专家系统

面向目标编程与基于框架设计

- 基于框架的专家系统建立在框架的基础之上，采用面向目标编程技术，框架的设计和面向目标的编程共享许多特征。在设计基于框架系统时，专家系统的设计者们把目标叫做框架。

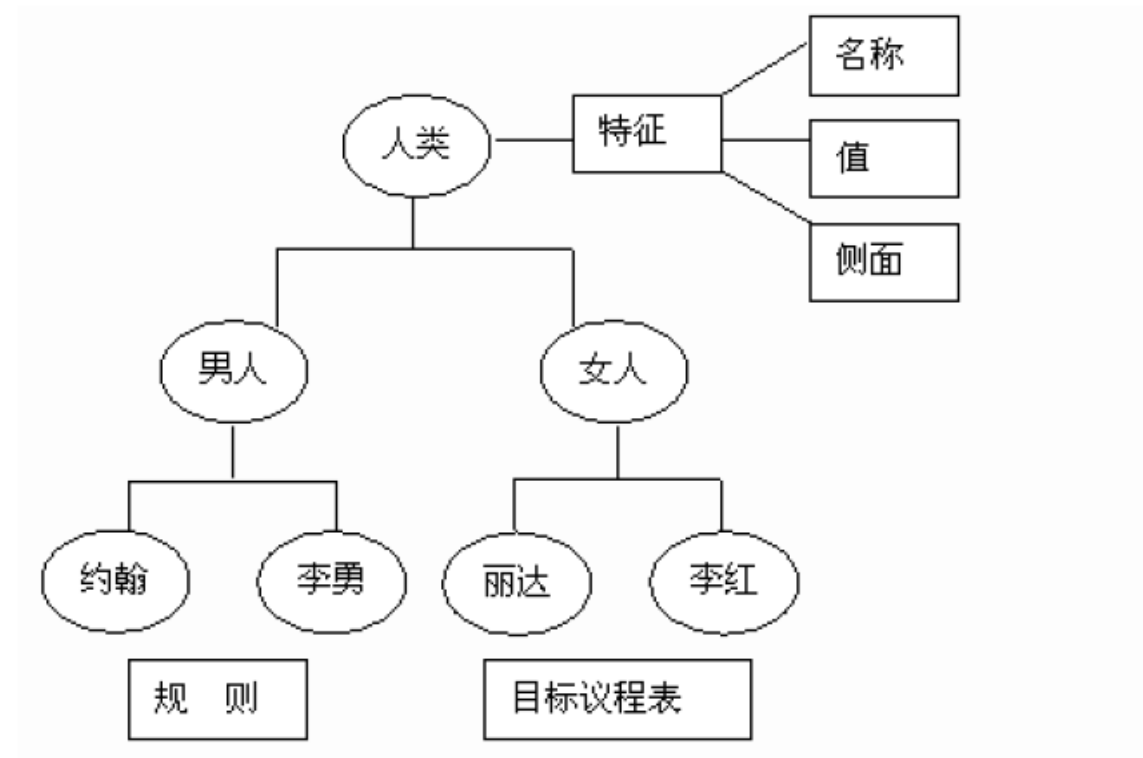
基于框架专家系统的结构

- 基于框架的专家系统是个计算机程序，该程序使用一组包含在知识库内的框架对工作存储器内的具体问题信息进行处理，通过推理机推断出新的信息。
- 这里采用框架而不是采用规则来表示知识。

基于框架专家系统的一般设计方法

- 基于框架专家系统的主要设计步骤与基于规则的专家系统相似。主要差别在于如何看待和使用知识，在设计基于框架的专家系统时，把整个问题和每件事想像为编织起来的事物。在辨识事物之后，寻找把这些事物组织起来的方法，对于任何类型的专家系统，其设计是高度交互的过程。

人类的框架分层结构



基于模型的专家系统

基于模型专家系统的提出

- 对人工智能的研究内容有着各种不同的看法。有一种观点认为：人工智能是对各种定性模型的获得、表达及使用的计算方法进行研究的学问。基于该观点人们提出了基于模型的专家系统。
- 采用各种定性模型来设计专家系统，其优点是显而易见的。
- 在诸多模型中，人工神经网络模型的应用最为广泛。

基于神经网络的专家系统

- 神经网络模型从知识表示、推理机制到控制方式，与目前专家系统中的基于逻辑的心理模型有本质的区别。

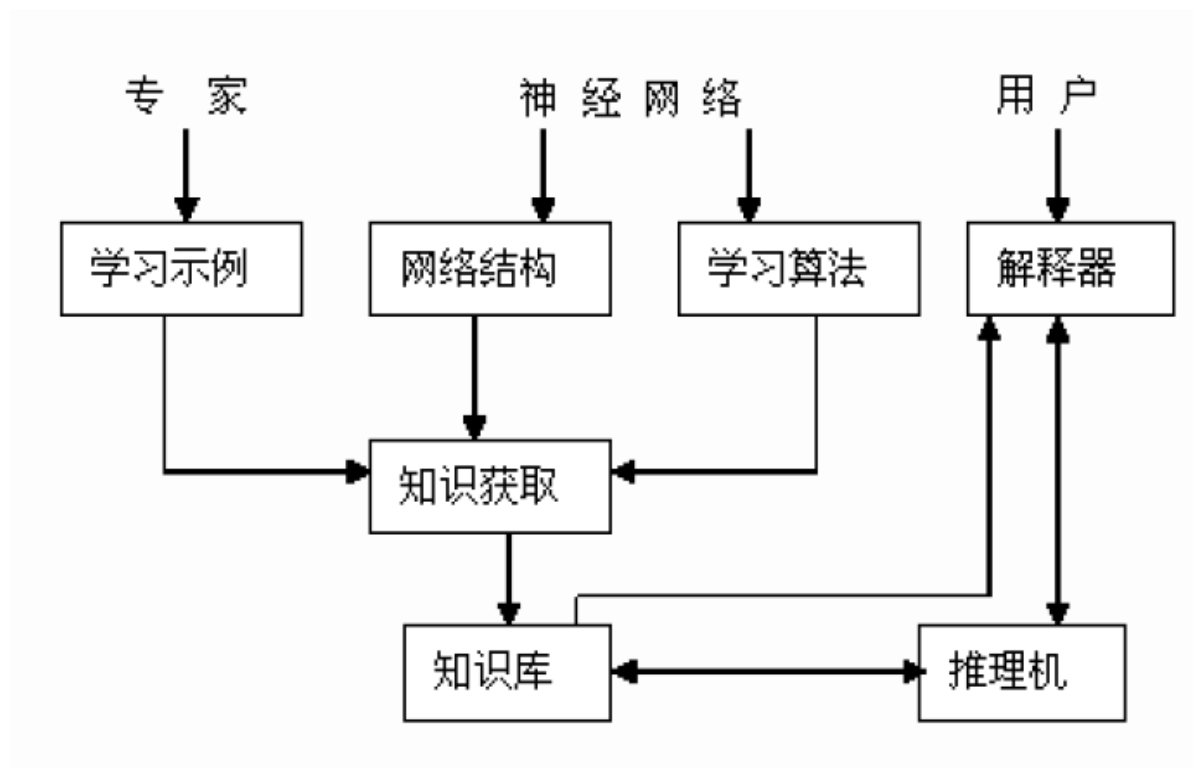
三种神经网络模型与专家系统集成模式

- 神经网络支持专家系统，以传统的专家系统为主，以神经网络的有关技术为辅。
- 专家系统支持神经网络，以神经网络的有关技术为核心，建立相应领域的专家系统，采用专家系统的相关技术完成解释等方面的工作。
- 协同式的神经网络专家系统，针对大的复杂问题，将其分解为若干子问题，针对每个子问题的特点，选择用神经网络或专家系统加以实现，在神经网络和专家系统之间建立一种耦合关系。

神经网络专家系统的基本结构

- 自动获取模块输入、组织并存储专家提供的学习实例、选定神经网络的结构、调用神经网络的学习算法，为知识库实现知识获取。当新的学习实例输入后，知识获取模块通过对新实例的学习，自动获得新的网络权值分布，从而更新了知识库。

神经网络专家系统的基本结构



神经网络专家系统的几个问题讨论

- 神经网络的知识表示是一种隐式表示。
- 神经网络通过实例学习实现知识自动获取。
- 神经网络的推理是个正向非线性数值计算过程，同时也是一种并行推理机制，神经网络各输出节点的输出是数值，因而需要一个解释器对输出模式进行解释。
- 同一知识领域的几个独立的专家系统可组合成更大的神经网络专家系统。

新型专家系统

新型专家系统的特征

- 并行与分布处理
 - 基于各种并行算法，采用各种并行推理和执行技术，适合在多处理器的硬件环境中工作，即具有分布处理的功能。
- 多专家系统协同工作
 - 在这种系统中，有多个专家系统协同合作。
- 高级语言和知识语言描述
 - 专家系统生成系统就能自动或半自动地生成所要的专家系统。

新型专家系统的特征

- 具有自学习功能
 - 新型专家系统应提供高级的知识获取与学习功能。
- 引入新的推理机制
 - 在新型专家系统中，除演绎推理之外，还应有归纳推理，各种非标准逻辑推理，以及各种基于不完全知识和模糊知识的推理等等。
- 具有自纠错和自完善能力
 - 为了排错必须首先有识别错误的能力，为了完善必须首先有鉴别优劣的标准。

先进的智能人机接口

- 理解自然语言，实现语声、文字、图形和图象的直接输入输出是如今人们对智能计算机提出的要求。

分布式专家系统

- 分布式专家系统(Distributed Expert System)是指逻辑上统一而物理上分布在不同的物理节点上的若干专家系统，是人工智能领域中分布式人工智能的一个部分。
- 主要目的：把一个专家系统的功能经分解以后分布到多个处理器上去并行地工作，从而在总体上提高系统的处理效率。
- 环境要求：可以工作在紧耦合的多处理器系统环境中，也可工作在松耦合的计算机网络环境里，所以其总体结构在很大程度上依赖于其所在的硬件环境。

设计和实现DES，需要解决的问题

- 功能分布，把分解得到的系统各部分功能或任务合理均衡地分配到各处理节点上去。
- 知识分布，根据功能分布的情况把有关知识经合理划分以后分配到各处理节点上。
- 接口设计，各部分间接口的设计目的是要达到各部分之间互相通讯和同步容易进行，在能保证完成总的任务的前提下，要尽可能使各部分之间互相独立，部分之间联系越少越好。
- 系统结构一方面依赖于应用的环境与性质，另一方面依赖于其所处的硬件环境。

设计和实现DES，需要解决的问题

➤ 驱动方式，可供选择的几种驱动方式

- 1) 控制驱动：当需要某模块工作时，就直接将控制转到该模块，或将它作为一个过程直接调用它，使它立即工作。
- (2) 数据驱动：一般一个系统的模块功能都是根据一定的输入，启动模块进行处理以后，给出相应的输出。
- (3) 需求驱动：这种驱动方式亦称“目的驱动”，是一种自顶向下的驱动方式。与此同时又按数据驱动的原则让数据(或其他条件)具备的模块进行工作，输出相应的结果并送到各自该去的模块。
- (4) 事件驱动：即当且仅当模块的相应事件集合中所有事件都已发生时，才能驱动该模块开始工作。否则只要其中有一个事件尚未发生，模块就要等待，即使模块的输入数据已经全部齐备也不行。

协同式专家系统

- 一般专家系统解题的领域面很窄，单个专家系统的应用局限性很大，很难获得满意的应用。
- 协同式多专家系统是克服一般专家系统的局限性的一个重要途径。
- 协同式多专家系统亦可称“群专家系统”，表示能综合若干个相近领域的或一个领域的多个方面的子专家系统互相协作共同解决一个更广领域问题的专家系统。
- 系统更强调子系统之间的协同合作，而不着重处理的分布和知识的分布。

需要解决的问题

➤ 任务的分解

- 根据领域知识，将确定的总任务分解成几个分任务，分别由几个分专家系统来完成。

➤ 公共知识的导出

- 把解决各分任务所需知识的公共部分分离出来形成一个公共知识库，供各子专家系统共享。
对解决各分任务专用的知识则分别存放在各子专家系统的专用知识库中。

➤ 讨论方式

- 目前很多作者主张采用“黑板”作为各分系统进行讨论的“园地”。为了保证在多用户环境下黑板中数据或信息的一致性，需要采用管理数据库的一些手段来管理它，使用它，因此黑板有时也称作“中间数据库”。

需要解决的问题

➤ 裁决问题

- 这个问题的解决办法往往十分依赖于问题本身的性质。

➤ 驱动方式

- 这个问题是与分布数据库中要考虑的相应问题一致的。尽管协同式多专家系统、各子系统可能工作在一个处理机上，但仍然有以什么方式将各子系统根据总的要求激活执行的问题，即所谓驱动方式问题。

专家系统设计

专家系统的描述

- 按照专家表达知识的方式，在系统设计过程中主要利用以下3个表达成分：
- 假设或结论
- 观测或观察
- 推理或决策规则
- 在专家中，观测和假设之间是严格区分的。观测是观察或量测，它的值可以是“真(T)”，“假(F)”，数字或“不知道”等形式。假设是由系统推理得到的可能结论。通常假设附有不确定性的量度。推理或决策规则表示成产生式规则。

结论的表示

- 结论规定了所涉及专门知识的范围。在ES中，每个假设用简写的助记符号和用自然语言(中文、英语或其它设计者希望使用的语言)写的正式的说明语句来表示。助记符号用于编写决策规则时引用假设。

观测的表示

- 观测是得到结论所需要的观察或量测结果。它们通常可以用逻辑值：真(T)，假(F)或“不知道”，或用数字来表示。把问题组织成菜单那样的编组是一种很有效的方法。

推理规则的表示

- 产生式规则是决策规则最为常用的表示形式可根据观测和假设之间的逻辑关系分成3类：
 - 从观测到观测的规则（FF规则）
 - FF规则规定那些可从已确定的观测直接推导出来的观测的真值。因为通过把观测和假设相组合可以描述功能更强的产生式规则形式。
 - 从观测到假设的规则（FH规则）
 - 在许多用于分类的专家系统中，产生式规则可对产生式结论的
 - 可信程度进行量度。
 - 从假设到假设的规则（HH规则）
 - HH(从假设到假设)规则用来规定假设之间的推理。

知识的使用和决策解释

- 建立专家系统还不是一门精确的科学。专家经常提供大量的信息，必须力图抽取专家推理过程中的关键内容，并且尽可能准确而简洁地表示这些知识。

结论的分级与选择

- 按评价的先后次序，把规则分成等级和选择规则是推理过程中控制策略的基本部分。可以根据专家的意见来排列与评价规则的次序。与此同时，还必须研究规则的评价次序的影响。规则评价次序的编排应该使不论采取什么次序，都得到相同的结论。
- 在产生式规则中应用可信度量测，不仅可以反映实际存在于专家知识中的不确定性，而且可以减少产生式规则的数量。

询问问题的策略

- 要给出一个询问问题的最佳策略是很困难的，询问的质量在很大程度上取决于在事先是否把问题清楚地组织好。一个好的询问策略，关键之一是使问题包含尽可能多的结构。应该根据共同的主题，把问题分成组。用FF规则这样的很简单的规则，可以在问题调查表里强制按主题进行分枝。如果系统推理所需的信息不是同时接受的话，可以有以下两种提问策略：
- 某些场合下，专家是以预先仔细规定的序列或固定顺序收集所需的知识。
- 系统不是按固定的顺序询问，而是根据具体情况作出某种选择。

决策的解释

- 系统的设计者和使用者都需要系统对它所作出的决策给予解释。但是它们对决策解释的要求又各不相同。
 - (1) 对系统设计者的解释。
 - (2) 对系统使用者的解释。
- 一种解释方法是用语句来说明结论。系统所用的假设可能是任何形式的包含说明和建议的语句。有时系统的设计者可以预先提出某些适合于给定假设的解释。



专家系统开发工具

骨架型开发工具

- 专家系统一般都有推理机和知识库两部分，而规则集存于知识库内。在一个理想的专家系统中，推理机完全独立于求解问题领域。系统功能上的完善或改变，只依赖于规则集的完善和改变。由此，借用以前开发好的专家系统，将描述领域知识的规则从原系统中“挖掉”，只保留其独立于问题领域知识的推理机部分，这样形成的工具称为骨架型工具。这类工具因其控制策略是预先给定的，使用起来很方便，用户只须将具体领域的知识明确地表示成为一些规则就可以了。
- 因其程序的主要骨架是固定的，除了规则以外，用户不可改变任何东西，因而骨架型工具存在一些有待解决的问题，影响它的广泛应用。

语言型开发工具

- 语言型工具提供给用户的是建立专家系统所需要的基本机制，其控制策略也不固定于一种或几种形式，用户可以通过一定手段来影响其控制策略。因此，语言型工具的结构变化范围广泛，表示灵活，所适应的范围要比骨架型工具广泛得多。

构造辅助工具

- 系统构造辅助工具由一些程序模块组成，有些程序能帮助获得和表达领域专家的知识，有些程序能帮助设计正在构造的专家系统的结构。它主要分两类，一种是设计辅助工具，另一种是知识获取辅助工具。

支撑环境

- 支撑设施是指帮助进行程序设计的工具，它常被作为知识工程语言的一部分。工具支撑环境仅是一个附带的软件包，以便使用户界面更友好。它包括四个典型组件：调试辅助工具、输入输出设施、解释设施和知识库编辑器。

小结

- 本章在产生式系统的基础上，首先研究了专家系统的基本问题，包括专家系统的定义、类型、特点、结构和建造步骤等。接着讨论了基于不同技术建立的专家系统，即第二节基于规则的专家系统、第三节基于框架的专家系统和第四节基于模型的专家系统。从这些系统的工作原理和模型可以看出，人工智能的各种技术和方法在专家系统中得到很好的结合和应用，为人工智能的发展提供很好的范例。

小结

- 计算机科学的一些新思想和新技术也对专家系统的发展起了重要作用。本章第五章归纳的新型专家系统，就是应用计算机科学中分布式处理和协同工作机制的结果，它们分别是分布式专家系统和协同式专家系统。

小结

- 本章第六节介绍了专家系统的设计，以一个基于规则的维修咨询系统为例，说明了专家系统的设计过程，并采用EXPERT开发工具进行设计。这将对专家系统有更具体和深入的了解。

小结

- 为了提高专家系统的开发效率、质量和自动化水平，需要专家系统的开发工具。本章第七节简介了4种主要开发工具，即骨架型工具、语言型工具、构造辅助工具和支撑环境。
- 专家系统是人工智能应用研究的一个最早最有成效领域。人们期待它有新的发展和新的突破。

Q&A

THANKS!

