主 要 内 容

第1讲：绪论：专家系统概论

**第一部分 知识表示**第2讲：产生式系统

第3讲：框架

**第二部分 不确定性处理**

第4讲：确定性理论

第5讲：Prospector 中的主观贝叶斯方法

第6讲：证据理论  
经典证据理论

简化证据理论

面向有序命题的简化证据理论

第7讲：加权模糊逻辑

第8讲：两级（二阶）不确定性

第9讲：协作冲突消解  
 一致性处理  
 确定性因子模型改进及在CDPS  
 冲突消解中的应用

协作冲突消解的辩论方法

**第一讲 专家系统概论**

1. **人工智能历史沿革与发展现状**
2. **知识工程的含义和发展**
3. **专家系统（Expert System，ES）的定义**
4. **知识的定义**
5. **知识的阈值**
6. **知识的类型**
7. **常用的知识表示形式**
8. **专家系统（基于知识的系统） 的体系结构**
9. **一个基于规则的专家系统的体系结构**
10. **专家系统（ES）的主要特征**
11. **专家系统的类型**
12. **简单的专家系统示例——动物识别专家系统ANIMAL**

**I. 知识工程的含义和发展**

1. **知识工程（Knowledge Engineering，KE）是研究如何运用人工智能（Artificial Intelligence，AI）的方法和技术建造专家系统（Expert System，ES）的一门工程性学科。**
2. **与建造专家系统有关的理论、方法、技术都是KE研究的内容；**
3. **KE是AI的应用分支，因此KE也被称为“应用AI”。**

**(一) 萌芽期（196 0至1965年）**

1. **此时AI的研究处于低谷期, 费根鲍姆（E．Feigenbaum）认为仅仅研究一般性问题的求解方法不够, 智能程序还应有领域专门知识;**
2. **1965年，费根鲍姆和林赛 (R.Linday)开发了DENDRAL系统,该系统可以通过分析图谱推断出物质结构,第一次把AI和领域专门知识有机结合起来;**
3. **同年，费根鲍姆（E．Feigenbaum）首次提出了专家系统（Expert System）的概念；**

**(二) 形成期(1965~1977)**

1. **1965~1977年，建造了一大批ES系统，并开始研制ES的开发工具，积累了很多经验；**
2. **最著名的有：1976年，MIT E. Shortliff 博士研制的 MYCIN系统、半自动知识获取工具Teiresias、开发工具EMYCIN；**
3. **但在建造ES的方法论上还存在很多问题，认为应把ES建造提高到工程的高度来认识；**
4. **1975年， 美国麦卡锡（J.Mecarthy，AI的开创者）提出“认识论工程”；**
5. **1977年，英国米奇（D.Michie，AI的先驱）扩充了“认识论工程”的概念，直接使用了“知识工程”一词；**
6. **1977年，费根鲍姆（Feigenbaum）在第5届国际人工智能联合会IJCAI-5上做了特邀报告“人工智能的艺术：知识工程的课题及实例研究”，他被誉为知识工程的鼻祖。**

**（三）发展期（1977至20世纪初）**

**KE的理论、方法不断的丰富，派生出许多新的研究领域**

1. **知识表示的研究；**
2. **推理方法的研究；**
3. **不确定性和模糊性处理的研究**

**确定性因子理论  
贝叶斯方法  
证据理论  
贝叶斯网  
可能性理论（模糊集合论、粗糙集、可能性逻辑）**

**非数值方法  
工程方法  
控制方法**

1. **知识获取方法的研究**

**数据挖掘 ⇒ ⇒结构化机器学习**

1. **Ontology(本体论)的研究**
2. **分布式人工智能（Distributed Artificial Intelligence ，DAI）的研究**
3. **智能主体（Agent）的研究**  
    **Intelligent Agent, Multi-agent system, Mobile agent, Web Intelligent agent,   
    Intelligent Information Agent(I2A)**
4. **专家系统开发工具、环境、平台的研究**

**等**

**II. 专家系统（ES，Expert System）的定义：**

1. **专家系统，是一个智能程序，它能对那些需要专家知识才能解决的应用难题，提供相关领域权威专家水平的解答（Michie , 1979 ; Feigenbaum , 1977 ; Hayes-Roth , 1983）。**
2. **专家系统，可以说是一个运用知识进行推理的计算机程序。推理就是使用某种符号逻辑，从一些事实得到结论的过程。**

**III. 知识的定义**

1. **知识是特定领域中的描述、关系和过程；**

**描述：识别和区分知识库中的对象和对象类； -----个体刻画**

**关系：知识库中对象之间依赖性、关联性； ---对象间联系的刻画**

**过程：推理中，规定要执行的动作； ---用符号描述操作**

**对象：知识库中最小单位的知识片，可能是：假设、事实、证据、结论、知识元、断言、命题等。**

1. **从广义上来说，专家系统中的知识（表层知识）包括两种：一种是事实；另一种是经验，即一种好的猜测和判断，也称之为启发式知识。**

**IV. 知识的阈值**

**⑴ ES拥有知识的数量与其所具有的问题求解能力之间的关**

**系：系统拥有的领域专门知识越多，其问题求解能力就越强。**

**⑵ 知识原理：一个系统显示出高水平的智能，其原因是：它具有丰富的专门知识，并且它能有效地利用这些专门知识。这里的“智能”系指在巨大的搜索空间中，能迅速找到合适解的能力。**

**⑶ 知识的阈值  
 知识的阈值系指知识的数量阈值，该阈值用来度量一个专家系统在相应的领域中所能达到的问题求解能力。**

* 1. **合式阈值（W）  
     明确表达一个任务所需要的最小知识数量。**

1. **能力阈值（C）  
   系统拥有的知识数量使它足以解决相应的领域中的大部分问题（约90%左右），这个知识数量称作能力阈值。**

**③．全体专家阈值（E）  
全体专家阈值系指一个领域中所有人类专家的专门知识的总和。如果一个专家系统所拥有的知识数量达到了全体专家阈值，那么它就几乎能解决相应领域中的所有罕见和困难的问题。**

**Ca** **P2**

# P1

**系统拥有的知识数量在C与E之间时，增加系统知识，系统性能改善不够明显，增加的知识有用但不常用，只能用于解决罕见问题。**

**W C E Qu**

系统所能达到的问题求解能力

系统所拥有的知识数量

**系统拥有的知识数量在W与C之间时，每给系统增加一些知识，都会使系统性能明显改善。**

**V. 知识的类型**

1. **事实性知识**

**★ 定义 事实性知识是指人类对客观事物属性的描述。一般这种知识中不包含任何变量，可以用一个命题陈述来表达。  
★　例：“北京有一千万人口”，“太阳从东方升起”；  
★ 若事实性知识是批量的、有规律的，可用表格、图册和数据库（DB）来表示；  
★ 一些事实性知识可用规则来表示。**

* **过程性知识  
  ★ 定义 描述做某事的过程，使人或计算机可照此去做。  
  ★ 例：“电视机的维修方法”，“怎样制作松花蛋”，  
  ★ 标准子程序库可表示过程性知识。**

1. **实例性知识**

**★ 定义 只给出一些实例，关于某一事物的知识却隐藏在这些实例**

**之中；  
 ★ 例：给出某一超市在过去5年的销售情况数据，从中人们可以找到这样一条规律，“牛奶和面包摆放在同一货架上出售，可以大幅度的促进这两种商品的销售。”  
 ★ 说明 人们所关心的不是实例本身，而恰恰是隐藏于其后的规律**

1. **行为性知识  
   ★ 定义 不直接给出事实本身，只给出它在某些（或某一）方面的**

**行为；  
★ 例：给出函数f的若干性质，但没有给出f的解析表达式  
★ 说明：行为知识经常被表示成某种数学模型；从某种意义上说，  
 行为知识描述事物的内涵，而不描述事物的外延。**

**【内涵、外延】**

**内涵指概念所反映的客观事物的本质属性。外延指概念所反映的一切事物。与“内涵”相对。如“商品”这一概念的外延是古今中外所存在的一切商品。**

1. **类比知识**

**★ 定义 既不给出某事物的外延，也不给出其内涵，只给出它与其  
 它事物的某些相似之处；  
★ 例** 谜语一则：“山叠叠而不高，路遥遥而不远，雷轰轰  
 而不雨，雪飘飘而不寒。”

以山拟其形，以路拟其圈，以  
 雪拟其粉，以雷拟其声。 **★ 类比知识一般不能完整刻画事物，有时会犯瞎子摸象的毛病；  
★ 类比知识，或者说类比，可启发人们用一个领域的知识去解决  
 另一个领域的问题。**

**元知识 ∉上述知识集合**

1. **元级知识（简称元知识）  
   ★ 定义 关于知识的知识；  
   ★ 最常用的元知识是关于如何使用知识的知识，即元控制知识。**

**VI. 常用的知识表示形式  
① 产生式（Productions），也称为产生式规则，也简称为规则****★ 规则是最常用的知识表示形式；  
★ 例 专家系统MYCIN的一条规则**（Shortliffe，85），规则中包含不确定性信息，规则强度 0.7 **IF   
 a) 微生物的染色体是革兰氏阳性，并且  
 b) 微生物的结构是球菌，并且  
 c) 微生物的生长形态是链状的** THEN   
 **有一个强度为0.7的参考性证据说明该微生物的类别是链球菌  
  
② 框架（Frames）  
③ 语义网络（Semantic Nets）  
④ 脚本（Scripts）  
⑤ 逻辑与集合（Logic and Sets）  
⑥ 知识表示语言（Knowledge Representation Language）**

**VII. 专家系统（基于知识的系统） 的体系结构**

**(1) ES的一般结构 (OES)**

**数**

**据**

**基**

**GDB**

**知**

**识**

**库**

**KB**

**推**

**理**

**机**

**Engine**

+ +

**(2) 元知识系统 (Meta Knowledge System)**

**对推理进行控制,以提高**

**MES**

**(Meta Expert System)**

**知识的使用效率**

**OES**

**(3) 分布式ES(DES)**

多个物理上分布的专家系统通过网络进行协作求解。

**(4) 多推理机系统（Multi-Engines）**

**DAI， MAS**

**(5) 多知识表示结构**

**(6) 多知识表示 + 多推理机**

**(7) 多层系统 (知识表示: 浅层 + 深层 )**

**(8) 体系结构**

专家系统体系结构

**VIII. 一个基于规则的专家系统的体系结构**

**人机界面**

**输入**

**一致性检验**

**完备性检验**

**编辑**

**知识获取**

**知识化简**

**推**

**理**

**机**

**数**

**据**

**基**

**解释器**

**知**

**识**

**库**

**人机界面**

**输入**

**一致性检验**

**完备性检验**

**编辑**

**知识获取**

**知识化简**

### 用户

### 知识工程师

**推理机**

**执行器**

**调度器**

**一致性协调器**

**数据基(黑板)**

**规划区**

**议程区**

**中间解区**

### 知识源

**解释器**

**知识库**

**事实**

**规则**

**（1）黑板（Black Board, BB）**

**用来记录系统推理过程中用到的控制信息、中间假设、中间结果的数据基。**

* **规划区：纪录对当前问题总的处理规划、目标、问题背景和问题当前状态 ；**
* **议程区：纪录了一些待执行的动作；**
* **中间解区：纪录了目前系统产生的中间结果、中间假设。**

**（2）推理机（Inference Engine）**

* **调度器：从议程区中选择下一次要执行的动作；**
* **执行器：根据KB中的规定，执行调度器选择的动作；**
* **一致性协调器：对执行器新得到的假设做似然性修正。**

**（3）知识获取工具**

**ES建造的瓶颈、目标是 全面 + 精确**

* **非正式会谈：知识工程师与领域专家协作收集知识；**
* **全自动工具**

**机器学习、机器归纳、数据挖掘**

* **辅助工具**

**知识编辑录入、求精、一致性、完备性检测**

**（4）解释器**

**对推理的结论给出合理的解释。**

**执行追踪法、预制文本法、策略解释法、自动程序员解释法。**

**（5）人机接口**

**设计要求：友好**

* **用户适应类（最低级）：用户适应系统**
* **系统适应类（最高级）：系统适应用户（个性化）**
* **混合适应类（中间级）：部分用户适应系统，部分系统适应用户**

**IX. 专家系统（ES）的主要特征**

**这些特征是ES与传统程序的显著差别。**

1. **具有显示表达的大量领域专门知识**
   * **知识库与推理机（Engine）分离导致了专家系统的很大的灵活性（flexible）；**
   * **知识片（基本知识单位）具有模块性：**
     + **改变一个知识片一般不会影响其它知识片，如果影响到其它一些知识片（规则），则可自动查找需要修改其它规则；**
     + **一个知识片不会被其它知识片直接调用。**

* **符号处理**
  + **基本假设：知识具有可表示性。**
  + **符号处理**
  + **符号表示：知识表示为符号体系（形式化体系）；**
  + **符号处理：运用知识的推理过程就转化为符号推理过程。**

1. **智能**

* **专家系统是在某领域表现出智能行为的系统。**
* **智能水平取决于：**
* **知识的多寡和质量；**
* **推理机的优劣：推理的完备性、推理效率**
* **自适应性：学习求解一般问题的能力。**
* **自推理**
* **对系统自身的行为给出解释，说明系统给出答案的由来。**

**X. 专家系统的类型**

**分类标准：按所求解的领域问题的类型或特点分类。**

* **解释类专家系统**
  + **定义：  
    该类专家系统的任务是通过对已知数据信息的分析、解释，确定其内涵。**
  + **例子：自然语言理解，图像分析，化学结构分析，信号解释（譬如，**通过对声纳收集的舰船发动机声音识别舰船**）等。**
  + **特点：数据通常是不准确、有错误、有丢失，数据量大。要求系统能从不完备信息中得出解释，并对数据做出某些假设，推理过程可能会很复杂、很长，系统需要对自身的推理过程给出解释。**
* **预报类专家系统**
  + **定义：通过对过去和现在已知情况的分析来推断将来可能发生的情况。**
  + **例子：天气和自然灾害等预报。**
  + **特点：数据随时间变化，数据不准确、不完全，系统应提供随时间变化的动态模型，可以从不完全、不准确的信息中得出预报，并要达到一定的反应速度。**

1. **诊断类专家系统**
   * **定义：从观察的情况中推断出机能失常的原因所在。**
   * **例子：医疗、机械、核电站、计算机系统和软件等诊断。**
   * **特点：充分了解被诊断对象各组成部分的特点及其相互联系，能区分一种现象掩盖另一种现象的情况，能提出需要测量（监测）的数据。**

**④ 设计类专家系统**

**任务是求出满足设计的约束的目标配置。现已有电路、建筑、预算等方面的设计系统。这类系统必须善于从多方面的约束中得到设计，也就是需要搜索较大的可能解空间，善于分解子问题、处理子问题之间的相互作用，能实验性地构造出可能设计，并很容易地对所得的设计进行修改，同时也需要能够用以前已证明正确的设计来解释当前的设计。**

**⑤ 规划类专家系统**

**这类系统的知识是设计出能达到一给定目标的一串动作。规划专家系统已广泛应用于机器人、交通运输、项目规划、通讯、实验、军事、程序设计等领域。系统所要规划的目标可能是静态的，也可能是动态的，因而需要系统能够对未来作出预测。由于所涉及到的问题可能得复杂，系统就需要能够抓住重点，妥善处理各子目标之间的作用和关系，处理不确定的数据信息，并通过一些试验性的动作得出可行的计划。**

* **监视类专家系统**

**其任务是把观察到的对象的行为与其应该具有的行为进行比较，以发现异常情况，给出警报。监视专家系统的应用领域有核电站、航空、疾病和财政管理等。这类系统一般具有较快的反应速度，发出的警取有较高的准确性，系统随时间和条件的变化来动态地处理输入信息。**

* **控制类专家系统**

**这类系统的知识是自适应地管理一个对象的全部行为。空中交通控制、商业管理、战斗管理、任务控制等领域的专家系统都属于这一类。这类系统需要能够解释当前的情况，预测未来，诊断问题的起因，不断修正计划和控制计划的执行。**

* **调试类专家系统**

**其任务是对失灵的对象给出处理方法。这类系统应同时具有计划、设计、预报等专家系统的能力。**

1. **教学类专家系统**

**其任务是根据学生的特点和其知识及弱点，以最适当的方式进行教学和辅导。这类系统需要有诊断、调试功能，并且有良好的人机接口。**

1. **修理类专家系统**

**其任务是对发生故障的对象进行处理，使其恢复正常。这类系统需要有诊断、调试、计划、执行等能力。**

**XI. 简单的专家系统——动物识别专家系统ANIMAL**

**[1] 专家系统ANIMAL的概貌**

1. **知识库特点：  
   采用规则表示领域知识，ANIMAL的知识库非常小，仅包含15条规则。一般说来，一个采用规则表达领域知识的专家系统，其知识库至少应包含几百条规则。**
2. **解空间特点：  
   专家系统ANIMAL的解空间仅包含7个最高假设（在一个特定的动物园里，共有虎、豹、长颈鹿、斑马、鸵鸟、企鹅和信天翁等7种动物。通常一个采用规则表达领域知识的专家系统，其最高假设，即问题的解，至少应该用百来计算。**
3. **初始事实集合特点：  
   仅包含20个事实，如图中的F1至F20，专家系统ANIMAL的初始事实的数量很小。**
4. **不确定性：  
   数据（即事实、证据、断言、命题等），知识（即浅层知识，规则）都是精确的，确定性的；**
5. **推理机特点：确定性推理，正向推理，反向推理。**

**[2] 知识库**

**R1： 如果 某动物有毛发（F1）  
 则 该动物是哺乳动物  
R2： 如果 某动物有奶（F2）  
 则 该动物是哺乳动物  
R3： 如果 某动物有羽毛（F3）  
 则 该动物是鸟  
R4： 如果 某动物会飞（F4），且下蛋（F5）  
 则 该动物是鸟  
R5： 如果 某动物吃肉（F6）  
 则 该动物是食肉动物  
  
R6： 如果 某动物有锋利的牙齿（F7），且有爪（F8），  
 且眼睛盯着前方（F9）  
 则 该动物是食肉动物（M2）  
R7： 如果 某动物是哺乳动物（M1），且有蹄（F10）  
 则 该动物是有蹄类哺乳动物（M3）  
R8： 如果 某动物是哺乳动物（M1），且反刍（F11）  
 则 该动物是有蹄类哺乳动物（M3），且偶蹄类  
R9： 如果 某动物是哺乳动物（M1），且是食肉动物（M2）,   
 且黄褐色（F12），且有暗班（F13）  
 则 该动物是豹（H1）  
R10：如果 某动物是哺乳动物（M1），且是食肉动物（M2），  
 且黄褐色（F12），且有黑色条纹（F14）  
 则 该动物是虎（H2）  
R11：如果 某动物是有蹄类哺乳动物（M3），且有长脖子  
 （F15），且有长腿（F16），且有暗斑（F13）  
 则 该动物是长颈鹿（H3）  
R12：如果 某动物是有蹄类哺乳动物（M3），  
 且有黑条纹（F14）  
 则 该动物是斑马（H4）  
R13：如果 某动物是鸟（M4），且不会飞（F17），  
 且有长脖子（F15），且有长腿（F16），  
 且是黑白色（F18）  
 则 该动物是鸵鸟（H5）  
  
R14：如果 某动物是鸟（M4），且不会飞（F17），  
 且会游泳（F19）， 且是黑白色（F18）  
 则 该动物是企鹅（H6）  
R15：如果 某动物是鸟（M4），且善飞（F20）  
 则 该动物是信天翁（H7）**

**[3] ANIMAL的正向推理网络**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **豹**  **H1** |  | **虎**  **H2** |  | **长颈**  **鹿**  **H3** | **斑马**  **H4** | **鸵鸟**  **H5** |  | **企鹅**  **H6** |  |  | **信天**  **翁**  **H7** |
|  | **黄褐**  **色 F12** | **暗斑**  **F13** | **长腿**  **F16** | **黑条**  **纹**  **F14** | **有蹄**  **类**  **M3** | **长脖**  **子**  **F15** | **不会**  **飞**  **F17** | **鸟**  **M4** | **黑白**  **色**  **F18** | **会游**  **泳**  **F19** | **善飞**  **F20** |
|  | **哺乳动物**  **M1** |  | **食肉动物**  **M2** |  | **有蹄**  **F10** | **反刍动物**  **F11** | **有羽**  **毛**  **F3** | **会飞**  **F4** | **下蛋**  **F5** |  |  |
| **有毛**  **发**  **F1** | **有奶**  **F2** | **吃肉**  **F6** | **犀利牙齿**  **F7** | **有爪**  **F8** | **眼睛前视**  **F9** |  |  |  |  |  |  |

观察到的事实：有奶；有犀利的牙齿，有爪，眼睛盯着前方；黄褐色，身上有黑色条纹。

**回答：这是什么动物?**

**[4] 正向推理网络中的结点  
初始事实结点———兰色**

**中间结论结点———绿色**

**最高假设结点———黑色**

**中间结论结点和最高假设结点又被分为“与结点”、“或结点”、“与或结点”**

**[5] ANIMAL 的数据基GDB**

一个单调增加的数据基。

**启动之初，数据基为空，用户回答和输入的事实，ANIMAL运行推导出来的中间结论和最高假设都插入数据基，因此在推理结束之前，ANIMAL 的数据基中存储的事实不断增加。当数据基中出现最高假设时，ANIMAL运行结束。**

**[6] 正向推理的例子**

**初始GDB = {黄褐色（F12），暗班（F13），吃肉（F6），有毛发（F1）}**

**由R1推出M1（哺乳动物）；**

**由R5推出M2（食肉动物）；**

**由R9推出H1（豹），此时GDB = ｛F1, F6, F12, F13, M1, M2, H1｝。**

**[7] 逆向推理的例子**

**验证所看到的动物是不是老虎？**

**已经观察到如下事实：**

**被观察动物：有奶，有犀利的牙齿，有爪，眼睛盯着前方，黄褐色，身上有黑色条纹。**

**在图上验证。**