



# 专家系统

---

中科大 自动化系 郑志刚  
2018.11



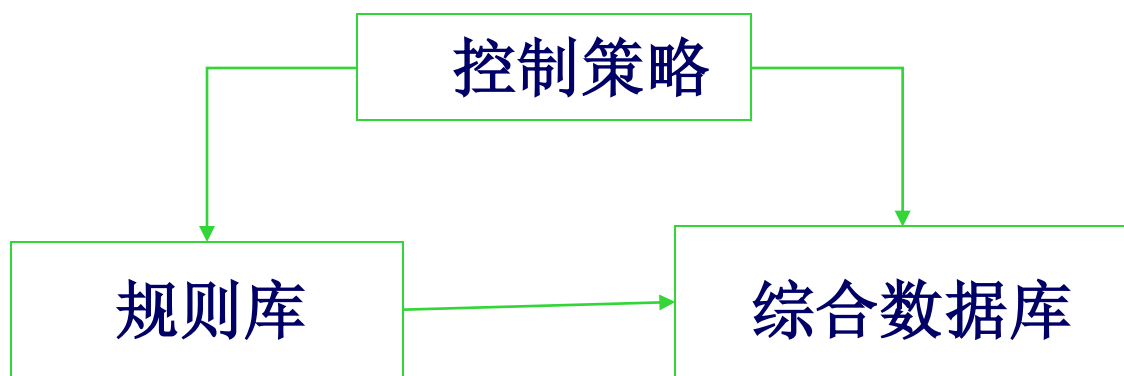
# 提纲

---

- 产生式系统回顾
  - 专家系统概述
  - 基于规则的专家系统
  - 基于框架的专家系统
  - 基于模型的专家系统
  - 新型专家系统
  - 专家系统设计
  - 专家系统开发工具
-

## 5.1.1 产生式系统的组成

我们已在第三章中讲过，产生式系统由3个部分组成，即综合数据库（或全局数据库），产生式规则和控制策略。各部分间的关系如图所示。



产生式系统的基本结构

## 5.1.2 产生式系统的表示

产生式系统在许多专家系统的主要知识表示手段，如MYCIN和R1等。下面我们讨论产生式系统的知识表示方法，包括事实的表示和规则的表示。

### 1. 事实的表示

像MYCIN这样的血液传染病的医疗诊断系统，就需要把包含病人的姓名、细菌的形态、抽取培养物的部位以及用药的剂量等事实表示在机器内部。先看一下每一件孤立事实是如何表示的。

## (1) 孤立事实的表示

孤立事实在专家系统中常用<特性—对象—取值>(attribute-object-value)三元组表示, 这种相互关联的三元组正是LISP语言中特性表的基础, 也是SAIL语言的基本数据类型。同样, 在谓词演算中关系谓词也常以这种形式表示。显然, 以这种三元组来描述事物以及事物之间的关系是很方便的。

例如

(AGE ZHAO-UNG 43)

(FATHER ZHAO-YIN ZHAO-LING)

(GRAMHAIN ORGANISM GRAM-POSITIVE)

(DOSE DRUG2.0 GRAMS)

(MAN ZHAO-LING TRUE)

(WOMAN ZHAO-LING FALSE)

这里，第三、四句是MYCIN系统中的事实，分别表示“细菌染色是革兰氏阳性”，“用药剂量是2.0克”。最后两句所表示的关系与前四句有所不同，有时称为谓词，谓词也可用二元关系表示：

MAN(ZHAO-LING)

$\neg$  WOMAN(ZHAO-LING)

此外，在专家系统中为了表示不完全的知识，用三元组表示还嫌不够，常需加入关于该事实确定性程度的数值度量，如MYCIN中用置信度来表示事实的可信程度。于是每一件事实变成了四元关系。

(IDENT ORGANISM-2 STREPTOCOCCUS 0.7)

(IDENT ORGANISM-2 STAPHYLOCOCCUS 0.3)

(MORPH ORGANISM-1 ROD 0.8)

(MORPH ORGANISM-1 COCCUS 0.2)

(GRAM ORGANISM-3 GRAMNEG 1.0)

分别表示(细菌—2是连锁状球菌的置信度为0.7)，(细菌—2是葡萄球菌屑购置信度为0.3)，(细菌—1的形态为杆状的置信度是0.8)，(细菌—1的状态是球状的置信度为0.2)，(细菌 —3革兰氏染色确为阴性)。

## 2. 规则的表示

### (1) 单个规则的表示

一般，一个规则由前项和后项两部分组成。前项表示前提条件，各个条件由逻辑连接词(合取、析取等)组成各种不同的组合。后项表示当前提条件为真时，应采取的行为或所得的结论。



由定义可见，MYCIN规则中，无论前项或后项，其基本部分是关联三元组(<特性—对象—取值>)或谓词十三元组，同它的事实的表示方式基本上是一致的。此外，每条规则的后项有一项置信度(certainty—factor)，用来表明由规则的前提导致结论的可信程度。这一点在多数专家系统中都需要加以考虑，以便反映在不完全知识的条件下推理的不确定性，至于采用何种度量方法为宜，与具体的论域有关。

### 5.1.3 产生式系统示例

下面举例介绍两种产生式系统，即用于综合的产生式系统和用于分析的产生式系统。

#### 1. 用于综合的产生式系统

在讨论用于综合的产生式系统之前，让我们先介绍系统的IF—THEN规则正向链接推理过程。

##### 正向链接推理过程

进行以下步骤，直到问题得到解决或找不到任何一个规则的IF部分可被当前的情况所满足为止：

(1) 收集IF部分被当前情况所满足的规则。如果不止一个规则的IF部分被满足，那么应用冲突解决策略选择优先级最高的规则，并删除其余规则。

(2) 执行所选规则THEN部分的操作。

以下的例子是一个用于综合的正向链接推理的产生式系统。这个系统的功能是把食品装入包装袋。

# 用于食品装袋的综合系统BAGGBR

BAGGER是一个在超级市场里把食品装入包装袋的机器人系统。我们不指望这个系统寻找最佳的装袋方法，但我们希望它具有一些简单的专门知识。例如，在装袋时，希望把大件物品先放到口袋的底部。然后，在有空间的地方再放入小件物品；冰淇淋要先放到一个单独的口袋（称为冷冻口袋）隔离开等。

整个装袋过程，可以分成以下几个阶段，或上下文：

## (1) 核对订货。

系统首先核对顾客所选购的食品。看一看在已选的食品中是否有遗漏，从而向顾客建议增加新的食品。

## (2) 大件物品装袋。

系统先装入大件物品，特别注意，如果有大的瓶装物品应首先装入。

(3) 中件物品装袋。

系统其次装入中件物品。如果有冰激凌，那么要招冰激凌先装入冷冻口袋。

(4) 小件物品装袋。

系统把小件物品装入有空位的地方。

BAGGER系统采用上下文限制的控制策略，它把规则按其适用的阶段分成组。其中某些规则只能用于核对订货阶段，另外一些规则只适用于大件物品装袋阶段等。

除了规则以外，系统还有一个数据库用于储存有关每个口袋所装物品的信息。

库的初始状态如下：

阶段：（核对订货）

口袋1：空

待装袋的物品：面包  
果酱

点心(2)

冰激凌

炸土豆片

这说明系统开始处于核对订货阶段，口袋1是空的，还未装袋的商品是面包、果酱、点心（2盒）、冰淇淋和炸土豆片

此外，数据库中还储存以下关于物品大小和容器的信息：

物品	容器种类	尺寸	是否冰冻食品
面包	塑料口袋	中件 (M)	非
果酱	罐	小件 (S)	非
点心	硬纸盒	大件 (L)	非
冰激凌	硬纸盒	中件 (M)	非
炸土豆片	塑料袋	中件 (M)	非
百事可乐	瓶子	大件 (L)	非

其中，容器的尺寸分为大、中、小(L、M、S)3种。容器的种类分为塑料袋、硬纸盒、罐、瓶等。百事可乐(Pepsi)是后来增加的物品。

以下是按阶段分组的规则：

**规则B1** 如果 在核对订货阶段  
订货中有一袋炸土豆片  
但没有软饮料

那么 在订货中应增加一瓶软饮料百事可乐

如前所述，BAGGER系统采用上下文限制策略，上下文的范围在规则的第一个条件中说明。当执行了规则B1以后，初始数据库就需要更新。这时，在待装的物品中要增加百事可乐这一项。

还可以有一些和B1相似的规则。例如，如果已经买了面包，那么最好买一些黄油。如果没有买，系统可向顾客提出建议。当核对了所有的项目，在这一组规则中没有发现可适用的规则时，就要结束这一阶段，而进入下一阶段。

与此相应的，有规则B2。

**规则B2** 如果 在核对订货阶段  
那么 结束核对订货阶段，进入大件物品  
装袋阶段

这里需要说明的是BAGGE配系统采用专一性排序冲突解决策略。所以如处在核对订货阶段，并且还需要建议增加新的商品，这时规则B2和其他规则会产生冲突，但根据专一性排序，首先要引用其他规则。只有当不需要增加新的商品，而且其他规则都不适用时，才会执行规则B2，从而进入新的阶段。

执行规则B2以后，系统处于大件物品装袋阶段。以下是属于这个阶段的规则

**规则B3** 如果 在大件物品装袋阶段  
有一大件物品要装袋  
有一个瓶子要装袋，



有一个口袋，其中已装入的大件物品少于6件  
那么 把瓶子装入口袋

**规则B4** 如果 在大件物品装袋阶段  
有一大件物品要装袋

有一个口袋，其中已装入的大件

物品少于6件

那么 把这大件物品装入口袋

在已装入的物品还不太多的口袋里可以继续装入物品，但因为瓶子比较重，所以要首先装入。规则B3的附加条件，保证了这个条件的实现。因此当有瓶子要装袋，并且上述两个规则的条件都被满足时，根据专一性顺序，要首先执行规则B3。

当所有的大件物品都已装袋，也就是规则B3和以都不适用时，应结束大件物品装袋阶段，进入中件物品装袋阶段。为此有以下规则B5。



**规则B5** 如果 在大件物品装袋阶段  
那么 结束大件物品装袋阶段  
开始中件物品装袋阶段

在此阶段中还有一种情况需要考虑，即如果还有大件物品要装袋，而正在装袋的口袋已满，这时需使用新的口袋，这就是规则B6。

**规则B6** 如果 在大件物品装袋阶段  
有一大件物品要装袋  
那么 启用一个新口袋

根据所给的数据库，应用上述规则，我们把百事可乐和点心装入大口袋，这时数据库的状态如下所示：

阶段： 中件物品装袋

口袋1： 百事可乐

点心

待装袋的物品： 面包

果酱

冰淇淋  
炸土豆片

以下是适用于中件物品装袋阶段的规则。

**规则B7** 如果 在中件物品装袋阶段  
有一中件物品需要装袋  
有一个空袋或一个装有中件物品

但未装满的口袋

这中件物品是冰冻物品，但未用

冰冻口袋隔离起来

那么 把这中件物品单独放入冰冻口袋

**规则B8** 如果 在中件物品装袋阶段  
有一中件物品要装袋  
有一空袋或一个已装有中件物品

的口袋

这口袋还未装满

根据专一性排序，规则B7优先于规则B8。因此，如果有什么冰冻物品，首先要把它放入冰冻口袋。和大件物品装袋阶段中的B6、B5相类似，还有规则B9和B10。

经过执行规则B7、B8、B10以后，数据库修改为

阶段：小件物品装袋

口袋1：百事可乐

点心(2)

口袋1：面包

冰淇淋

炸土豆片

未装袋的物品：果酱

以下是适用于小件物品装袋阶段的规则：

**规则B11** 如果 在小件物品装袋阶段  
有小件物品要装袋  
有一个口袋没有装满  
这个口袋里没有装瓶子

那么 把小件物品装入口袋

在上述规则B11中加有“这口袋里没有装瓶子“的条件，这只是根据某个专家的经验，如果采用别的专家的经验，那么可能会有别的条件。

**规则B12** 如果 在小件物品装袋阶段

有小件物品要装袋

有一个口袋没有装满

那么

把小件物品装入口袋

**规则B13** 如果

在小件物品装袋阶段

有小件物品要装袋

所有装大件物品和中件物品的口

袋已装满

那么 把小件物品装入新口袋

这只是根据某个专家的经验

执行上述规则，最后数据库所处的状态是：

阶段：小件物品装袋

口袋1: 百事可乐  
点心  
口袋1: 面包  
炸土豆片  
冰激凌  
果酱

未装袋的物品: 无

这说明所有的物品都已装入包装袋。这就完成了所要解决的问题，过程到此结束。

## 2. 用于分析的产生式系统

我们将研究用于分析的产生式系统，这种系统可以用于医疗诊断，油井记录数据的分析与解释等。用于分析的产生式系统包括回答问题和计算答案可靠性等过程。

# 动物识别系统IDENTIFIER

IDENTIFIER是一个用于识别动物的分析系统。从本质上讲这个系统是用于分析和分类的。它接受一组已知的事实，然后做出相应的结论。医疗诊断系统如MYCIN也是属于这类系统，因为诊断也可以认为是一种分类，例如分成正常和不正常两类。这里我们首先介绍IDENTIFIER的产生式规则，然后介绍正向链接和逆向链接推理方法。

## (1) IDENTIFIER的产生式规则

为了区别动物园里的各种动物，用一条IF-THEN规则识别一种动物是可能的，但这样的方法很麻烦。因为，这时在规则的结论这边只是简单的一句说明动物名字的句子，而在规则的前项这边，就要列举出足够多的特性，以便正确地把各种动物区分开。系统工作时使用者首先要把所有可以得到事实收集在一起，然后，在所有的产生式规则中逐个比较，以寻找在前项这边相匹配的规则。

一个比较好的方法是产生中间事实。这样做的优点是涉及到的规则少，容易理解，便于使用和建立规则。IDENTIFIER也采用这种方法。为了便于说明，把要识别的动物限于7种。这样所需要的产生式规则就比较少。其中4条用于确定生物学分类是哺乳动物或是鸟类。开始的两条规则试图规定识别哺乳动物的最基本条件，其次两条规则规定识别鸟类的最基本条件。

规则11 如果 该动物有毛发  
那么 它是哺乳动物

规则12 如果 该动物能产乳  
那么 它是哺乳动物

规则13 如果 该动物有羽毛  
那么 它是鸟类动物

规则14 如果 该动物能飞行  
它能生蛋  
那么 它是鸟类动物

11到14这一组规则可用于把哺乳动物和鸟类区分开。以下的规则再把哺乳动物和鸟类进一步分成更细的类别，这形成一种分层的分类形式。

规则15	如果	该动物是哺乳动物
		它吃肉
	那么	它是食肉动物
规则16	如果	该动物是哺乳动物
		它长有爪子
		它长有利齿
		它眼睛前视
	那么	它是食肉动物
规则17	如果	该动物是哺乳动物
		它长有蹄
	那么	它是有蹄动物



规则18 如果 该动物是哺乳动物  
它反刍

那么 它是有蹄动物，并且是偶蹄动物

规则15到18把哺乳动物又进一步分类为食肉动物和有蹄动物。这两类又可以利用以下规则进一步分类。这类似于模式识别中的决策树。以下两个规则对食肉动物进行细分。

规则19 如果 该动物是食肉动物  
它的颜色是黄褐色  
它有深色的斑点

那么 它是猎豹

规则110 如果 该动物是食肉动物  
它的颜色是黄褐色  
它有黑色条纹

那么 它是老虎

## 规则11 如果 该动物是有蹄动物

# 它有长腿

# 它有长颈

## 它的颜色是黄褐色

它有深色斑点

那么

# 它是长颈鹿

它的颜色是白的

它有黑色条纹

那么

它是斑马

## 规则13 如果 该动物是鸟类

# 它不会飞

# 它有长颈

# 它有长腿

它的颜色是黑色和白色相杂

那么 它是鸵鸟

规则I13的IF部分的条件“它有长腿”和“它有长颈”，也出现在规则I11的IF部分，但由于I11是适用于有蹄动物的分类，而I13是适用于鸟类的分类，所以这两者不会引起混淆。

规则I14 如果 该动物是鸟类

它不能飞行

它能游水

它的颜色是黑色和白色

那么 它是企鹅

规则I15 如果 该动物是鸟类

它善于飞行

那么 它是海燕

## (2) 正向链接推理

由上述可知，当需要分类的类别很多时，虽然从原理上讲可以来用一条规则识别一个类别的方法。但为了做到这点，通常需要大量的观察，以得到众多的特征。专家在进行分类时并不这样做，他们总是先用少量的观察把野兽和鸟类区分开，要把野兽和鸟类分开是容易的。然后在野兽或鸟类中继续区分出主要的类别。依次类推，在主要类别中分出于类别等。这种做法可以是正向的也可以是逆向的推理。这里我们先介绍正向推理。

例如，设首先我们观察得到两个事实：

它的颜色是黄褐色的；。

它有深色的斑点

虽然在规则I9和I11的IF部分中包括这两个条件，但不能决定哪一条规则可以适用，不能执行其中的任何一条。因为这里首先需要检查上下文是否正确。为此，需要进一步的观察。假设，我们得到新的事实是：

“它反刍”

这个事实意味着，这个动物产乳，

“它产乳”

这时，规则12的IF部分得到满足，从而得到“它是哺乳动物”的结论。这个结论连同“它反刍”的事实，使规则18的IF部分得到满足，这又可以得到“它是偶蹄动物”的结论。要进一步分类还要新的观察。假设这时得到“它有长腿”和“它有长颈”的观察，那么根据规则111可以得到“它是长颈鹿”的结论。

以上推理过程可以用图表示，如[图5.5](#)所示。图中空心的方块表示观察到的未经处理的事实，实心方块表示推论的结论，与门表示规则。

这种图有时也可叫作局部推测。它用图表描述推理过程。[图5.5](#)上所表示的是纯粹的正向推理。这种推理过程从事实出发，试图使事实和规则的IF部相匹配，然后，启用规则的THEN部分。

这样的过程是局部推理网络，是纯粹的正向链接推理，但是推理也可以是逆向的。

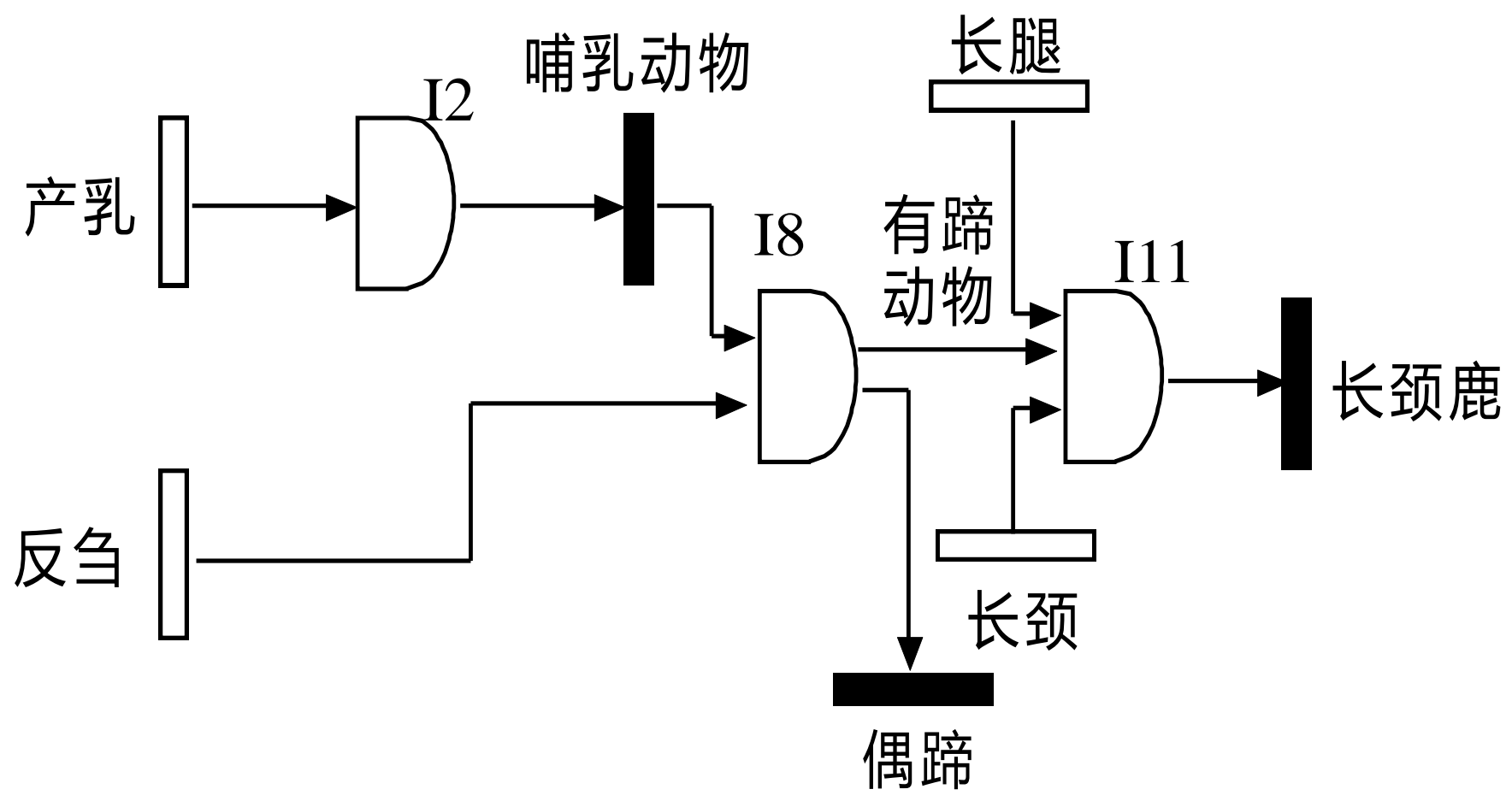


图 5.5 正向链接推理

### (3) 逆向链接推理

至今，以规则为基础的系统推理方法都假设从已知事实推论出新的事实。一个系统以这样的方式运行是正向链接推理，但逆向链接推理也同样是可能的。系统可以假设一个结论，然后利用 IF—THEN 规则去推论支持假设的事实。

例如，在 IDENTIFIER 中可以假设给定动物是猎豹、然后，试图证明这个假设。以下的步骤具体描述逆向链接推理系统如何进行工作：

① 假设这个动物是一只猎豹。为了检验这个假设，根据规则 19，要求这个动物是食肉动物，并且颜色黄褐色和带有深色斑点。

② 我们必须检验这个动物是否是食肉动物。有两条规则 15 和 16 可适用于这个目的。假设我们首先试用 15，根据规则 15，要求这个动物必须是哺乳动物。

③我们必须检验这个动物是否是哺乳动物。同样这里也有两种可能性，即应用规则I1或I2。假设我们首先试用I1。

④我们必须检验这个动物是否有毛发，假设由观察得知它有毛发。这说明此动物一定是哺乳动物，所以系统可以返回去继续检验规则I5要求的其它条件。

⑤由规则E5的第二个条件，我们必须检验该动物是否吃肉。假设，这时没有找到这动物吃肉的证据，因此IDENTIFIER必须放弃规则I5，并试用规则I6去确定该动物是食肉动物。

⑥规则I6要求，检验该动物是否是哺乳动物，这在检验规则I5所要求的条件时，已经确定了。

⑦规则I6的其余条件，要求检验该动物是否有尖利的牙齿，是否有爪子，眼陌是否前视。

假设从观察得知，所有这些都是事实。这样就可以证实该动物是食肉动物。这时，IDENTIFIER返回到开始的出发点规则I9。



⑧设该动物颜色是黄褐色，带有深色斑点的假定都是事实，那么规则19证明了关于该动物是一只猎豹的假定。

通过IF—THEN规则[IDENTIF[置R可以逆向推理，以确定要寻找什么样的事实。逆向移动的链从所作的假设开始发展，如果所作的假设得到证实，那么这个链就成功地结束；如果要求的前提事实不能确定或者根据是不存在的，那么这个链就失败。

产生式系统可以正向推理，也可以逆向推理。至于哪一个更好些，这个问题取决于推理的目标和搜索空间的形状。如果目标是从一组给定事实出发，找到所有能推断出来的结论，那么，产生式系统应该采用正向推理。

另一方面，如果目标是证实或否定某一特定结论，那么，此产生式系统应该采用逆向推理。因为从一组初始的给定事实出发，可以得出许多和要证实的结论无关的结论。如把这些事实输入到产生式系统中去正向推理，那么许多工作就会是一种浪费。

例如：对医疗方面的大多数诊断问题，人们倾向于应用逆向推理。这时，先假设某种可能的疾病，然后去核对是否所有的症状都相符合。如果症状相符合，就证实了这种疾病，反之就否定了这种疾病。

# 专家系统概述

---

- 专家系统—AI的重要研究领域
- 70年代中期,专家系统研制成功,目前专家系统的应用领域非常广泛
- 专家系统的力量-来源于知识
- 专家系统:具有大量专门知识和经验的程序系统,能够模拟人类专家解决专业领域问题
  - 记录人类专家的知识
  - 模拟人类专家问题求解的方法,步骤和技巧
  - 能够进行推理,判断,解决复杂领域问题
- 专家系统从产生式系统发展而来

# 专家系统类型(用途划分)

---

## ☐ 解释型

- 作用:对已知信息和数据进行分析 and 解释,确定它们的涵义
- 特点
  - ☐ 处理的数据量大, 而且往往不确定,有错误和不完全
  - ☐ 系统能够从不完全的信息中得到解释,并能够对数据做出某些假设
  - ☐ 推理过程可能很长,很复杂
- 例子
  - ☐ 语音解释, 图象分析, 系统监视,化学结构分析
  - ☐ 卫星图象分析 ,集成电路分析, 染色体分析

# 专家系统类型

---

## ☐ 预测型

- 作用:对过去和现在的状况进行分析,推断未来可能发生的事情
- 特点
  - ☐ 系统处理的数据随时间变化
  - ☐ 系统需要具备适应时间变化的动态模型
- 例子
  - ☐ 气象预报, 军事预报, 人口预报, 交通预报
  - ☐ 产量预报

# 专家系统类型

---

## □ 诊断型

- 作用:根据观察到的情况,推断某个对象机能失效的原因
- 特点
  - 能够了解被诊断对象各组成部分的特性以及它们之间的关系
  - 能够区分一种现象及其所掩盖的另外一种现象
  - 能够向用户提出测量的数据,并从不确定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

# 专家系统类型

---

## ☐ 设计型

- 作用:根据设计要求,求出满足设计问题约束的目标配置

- 特点

- ☐ 善于从多方面约束中得到符合要求的设计结果
- ☐ 系统可能需要搜索较大的可解空间
- ☐ 善于分析各种子问题, 并处理好子问题之间的相互作用
- ☐ 能够试验性地构造出可能设计, 并易于对所设计的方案进行修改
- ☐ 能够使用已被证明是正确的设计来解释当前的设计

- 例子

- ☐ 电路设计, 土木设计, 计算机结构设计, 机械设计
- ☐ 生产工艺设计

# 专家系统类型

---

## □ 规划型

- 作用: 寻找出某个能够达到给定目标的动作序列和步骤
- 特点
  - 规划目标可能是静态或动态的, 因而需要对未来动作做出预测
  - 涉及问题可能非常复杂, 要求系统能够抓住重点, 处理好各个子目标之间的关系
- 例子
  - 机器人规划, 交通运输规划, 工程项目论证
  - 通信和军事指挥规划, 农作物施肥方案规划



# 专家系统类型

---

## ☐ 监视型

### ■ 作用:

- ☐ 能够对系统,对象或过程进行不间断地观察,以发现异常情况

### ■ 特点

- ☐ 具备快速反应能力,在事故之前及时地发出报警
- ☐ 报警具备很高的准确性
- ☐ 能够随着时间和条件的变化动态地处理输入信息

### ■ 例子

- ☐ 核电站的运行监控,防空监视与预警,传染病疫情监控

# 专家系统类型

---

## ☐ 控制型

- 作用: 自适应地管理一个受控对象和客体的全面行为, 使之满足预期要求
- 特点
  - ☐ 能够解释当前情况, 预测未来可能的情况
  - ☐ 能够诊断可能发生的问题, 不断修改计划
  - ☐ 控制计划的执行
- 例子
  - ☐ 交通控制, 商业管理, 自主机器人控制
  - ☐ 作战管理, 生产过程控制和生产质量控制

# 专家系统类型

---

## ☐ 调试专家系统

- 作用:对失灵的对象给出处理意见和方法
- 特点
  - ☐ 同时具备规划,设计,预报和诊断的功能
- 例子
  - ☐ 新产品或新系统的调试
  - ☐ 维护设备

# 专家系统类型

---

## ☐ 教学专家系统

- 作用: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
  - ☐ 同时具备诊断和调试的功能
  - ☐ 良好的人机界面
- 例子
  - ☐ ACSYMA符号积分与定理证明系统
  - ☐ 聋哑人语言训练系统

# 专家系统类型

---

## ☐ 修理专家系统

- 作用:对发生故障的系统进行处理,使其恢复正常工作
- 特点:具备诊断,调试,计划和执行的功能
- 例子:
  - ☐ ACI电话和有线电视维护修理系统

# 专家系统特点

---

- 启发性:能够运用专家的知识 and 经验进行推理,判断和决策
- 透明性:不仅能够给出推理和决策的结论,而且还能够给出这些结论的理由
- 灵活性:知识库中的知识不断得以修改和增加

# 专家系统优点

---

- ❑ 能够高效,准确,周到,迅速和不知疲倦地工作
- ❑ 不受环境的影响,不会遗忘
- ❑ 不受时间和空间限制
- ❑ 能够促进各个领域的发展,使得各个领域的知识和经验得以总结和提炼,能够广泛而有力地传播专家的知识,经验和能力
- ❑ 能够汇集多名专家的知识 and 经验,能够解决更复杂的问题
- ❑ 军事专家系统是一个国家国防能力的重要标志
- ❑ 专家系统的研制和应用,能够产生巨大的社会效益和经济效益
- ❑ 能够促进整个科学技术的发展

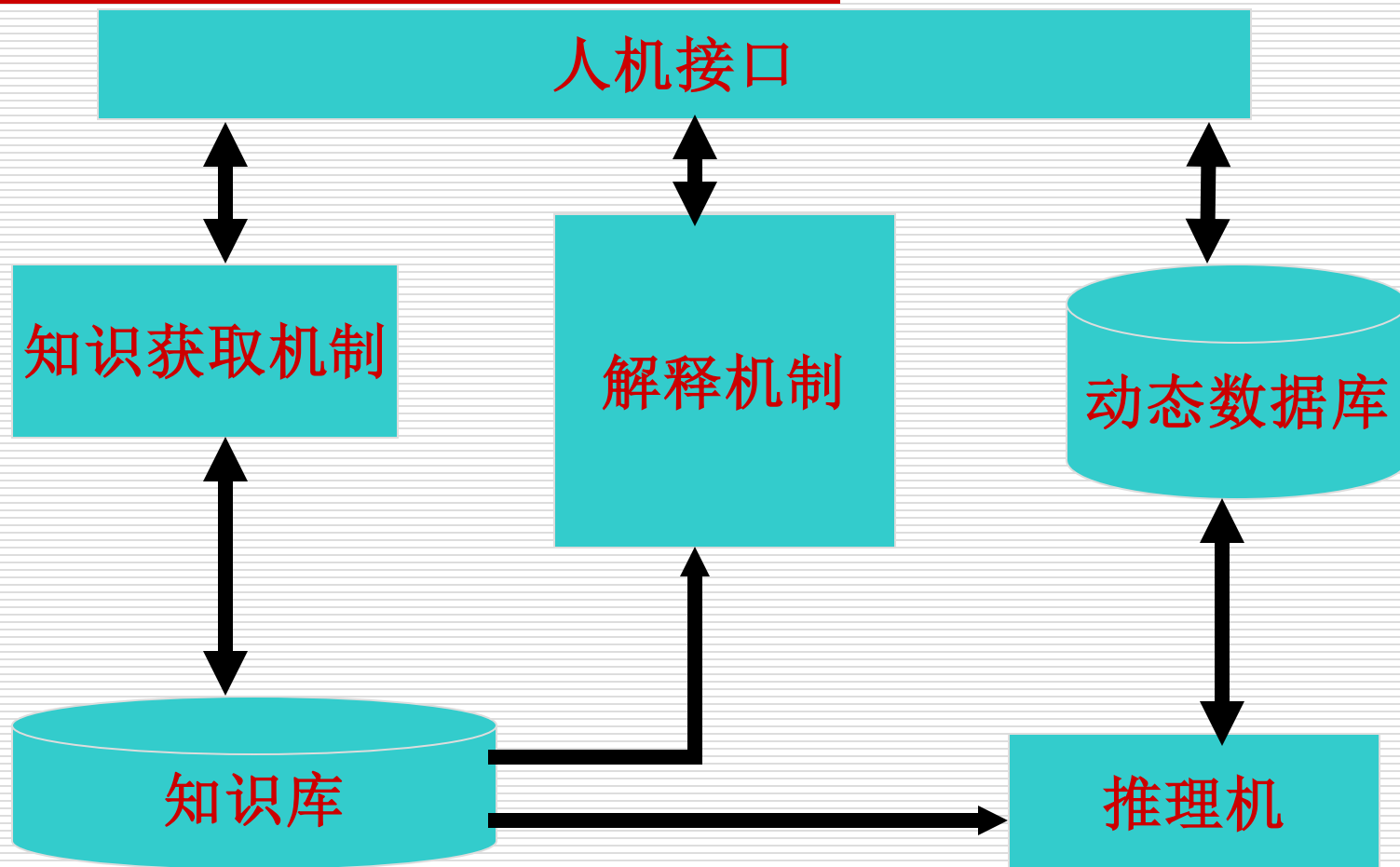
# 专家系统的结构

---

- 系统结构：系统各个组成部分的构造方法和组织形式
- 应用环境和所执行任务的特点来决定系统结构，系统结构决定的系统的适用性和有效性
  - MYCIN的任务是诊断,特点是空间小,可靠性要求高,可以采用穷尽检索和单链推理方式
  - HEARSAY-II系统,任务是口语理解,检索空间大,可靠性要求不高,可以采用猜测方法



# 理想专家系统的结构



---

**知识库：**存放领域专家提供的求解问题的专门知识，其质量直接影响ES的性能。

**动态数据库：**反映具体问题在当前求解状态下的符号或事实的集合，包括(或上下文) 问题的有关初始数据和系统求解期间所产生的所有问题。

**推理机：**在一定的控制策略下，针对上下文中的当前问题信息，识别和选取知识库中对当前问题的可用知识进行推理，以修改上下文，直到最终得到问题的解。

**知识获取机制：**为用户创立一个知识自动输入方法，以代替知识工程师去编码知识。

**解释机制：**解释器能够向用户解释专家系统的行为，包括解释推理结论的正确性以及系统输出其它候选解的原因。

**人机接口：**实现用户输入和ES内部表达方式的转换。

---

# 一般应用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。

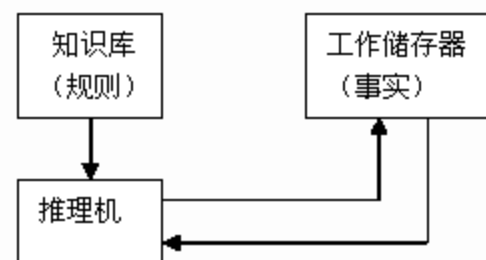
# 专家系统的分类

---

- 按照专家系统的构造方式
  - 基于规则的专家系统
  - 基于框架的专家系统
  - 基于模型的专家系统

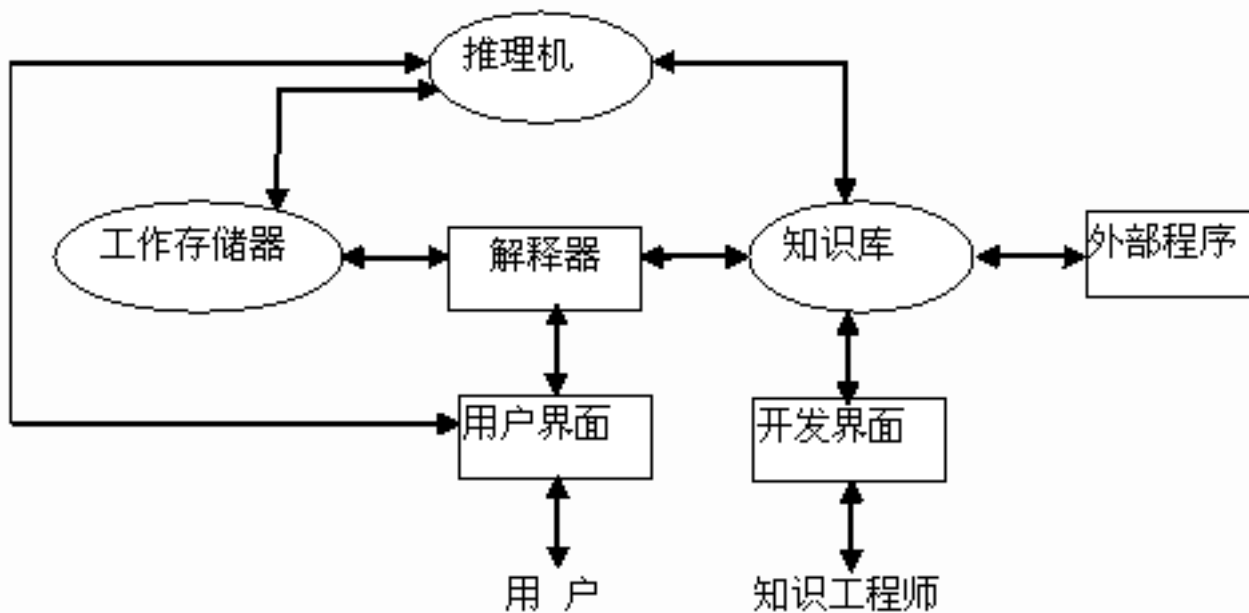
# 基于规则专家系统的工作模型

- 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。
- 工作模型
  - 知识库:包含很多产生式规则
  - 工作存储器:存放事实的存储机构
  - 推理机:利用事实和规则进行推理



基于规则专家系统的工作模型

# 基于规则的专家系统的结构



基于规则专家系统的结构

# 基于规则的专家系统

---

## □ 结构

- 接口：用户接口可能包括某种自然语言处理系统，它允许用户用一个有限的自然语言形式与系统交互。也可能用带有菜单的图形接口界面。
- 开发者接口
- 解释器：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。
- 外部程序

## □ 特点：有效的构建专家系统的方式,很多专家系统工具支持这种类型的专家系统

# 基于框架的专家系统

---

## □ 基于框架的专家系统的表示与实现

- 采用框架表示概念及其关系
- 采用面向对象的编程技术来实现
  - 对象的构成:对象的属性和行为
  - 将陈述性知识和过程性知识封装成对象,可以提高系统的灵活性

## □ 结构

- 基于框架的知识库
- 工作存储器
- 推理机



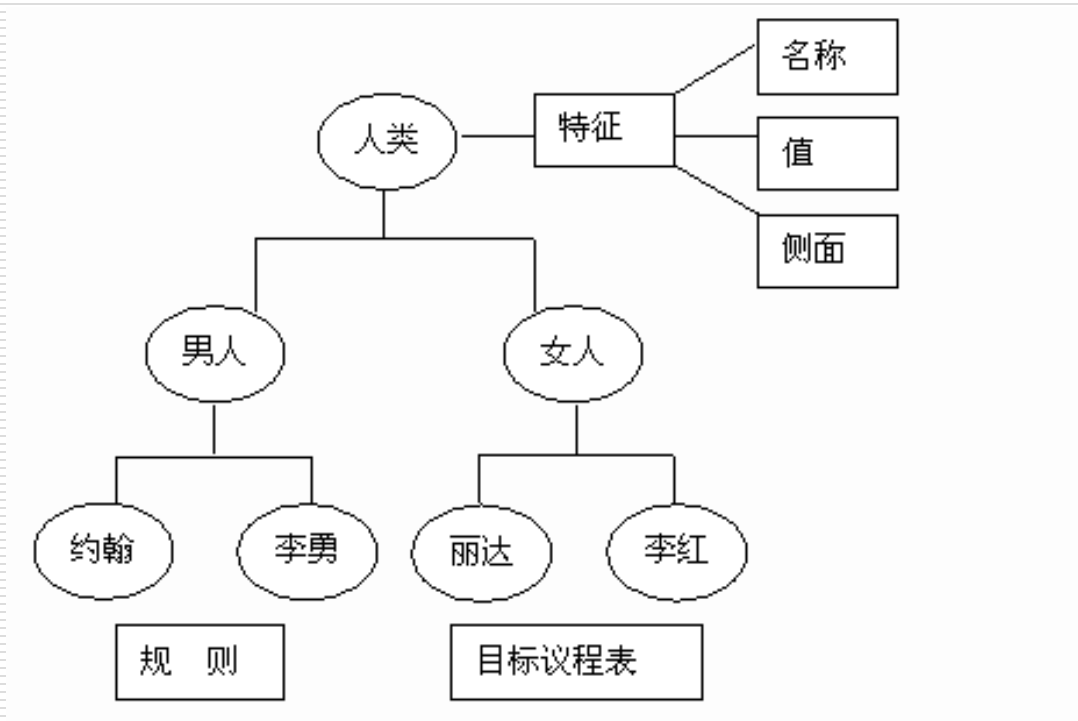
# 基于框架的专家系统

---

## □ 一般设计方法

- 问题定义:对问题和结论的考察与综述
- 分析领域,包括定义事物,事物的特征,事件和框架结构
- 定义类及其特征
- 确定模式匹配规则
- 规定事物通信方法
- 设计系统界面
- 对系统进行评估
- 对系统进行扩展,深化和拓广

# 基于框架的专家系统



人类的框架分层结构

类、子类和例子（物体）用于表示对基于框架系统的组织

# 基于模型的专家系统

---

- “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”，知识库中是由各种模型综合而成的,这些模型往往是一些定性模型
- 基于神经网络的专家系统
  - 表示:知识被隐式地,分布地表示成神经元之间的连接强度,而不是一条条显式的规则
  - 获取:知识的获取采用学习算法自动获取,而不是通过人工获取的
  - 运用:将模式转化为特定的输入数据,由NN进行自动,并行的输出结论计算

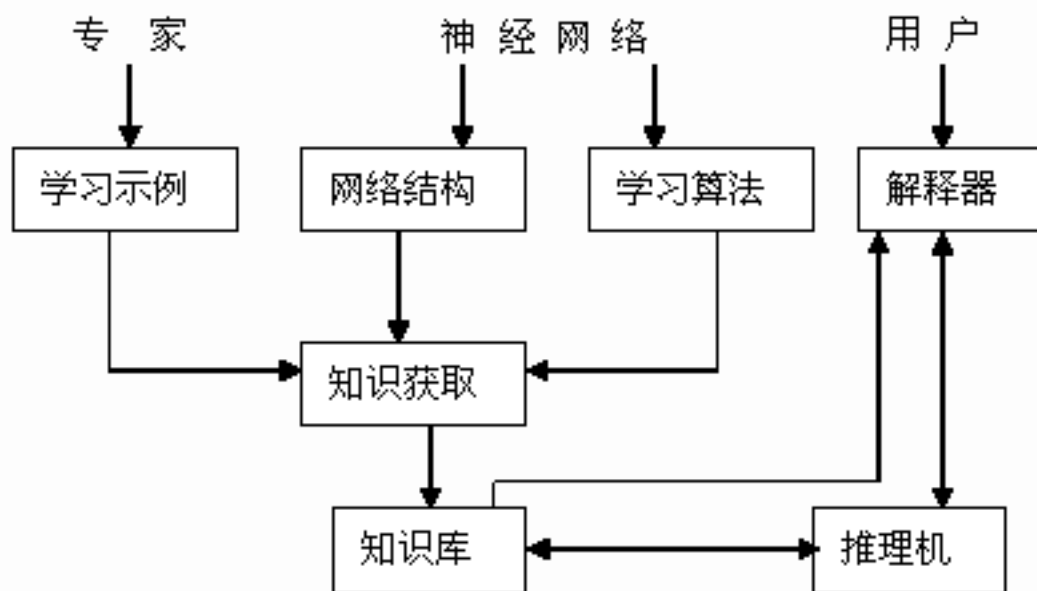
# 神经网络NN和传统ES的综合

---

- NN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NN：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

- 并行和分布处理：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
- 多专家系统的协同工作
- 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
- 具有自学习功能
- 引入新的推理机制：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

# 分布式专家系统

- 将专家系统的功能分解,分布到多个处理器上并行地工作,从而提高系统的整体效率
- 分布方式
  - 紧耦合的多处理器系统环境
  - 松耦合的计算机网络环境
- 分布式专家系统需要解决的问题
  - 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(层次树状,星形,总线,环形,网状): 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



# 分布式专家系统

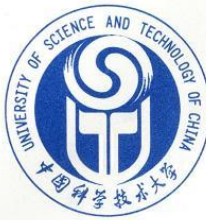
---

- 驱动方式(控制驱动,数据驱动,需求驱动,事件驱动)
  - **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。
  - **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。
  - **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。
  - **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

---

- 单个专家系统问题:应用局限性大
- 协同式专家系统的优点
  - 多个领域的专家系统协同工作,解决更广范围的问题
  - 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



# 协同式专家系统需要解决的问题

- **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”。
- **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。

# 专家系统的建造步骤

---

## □ 设计初始知识库

- 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。

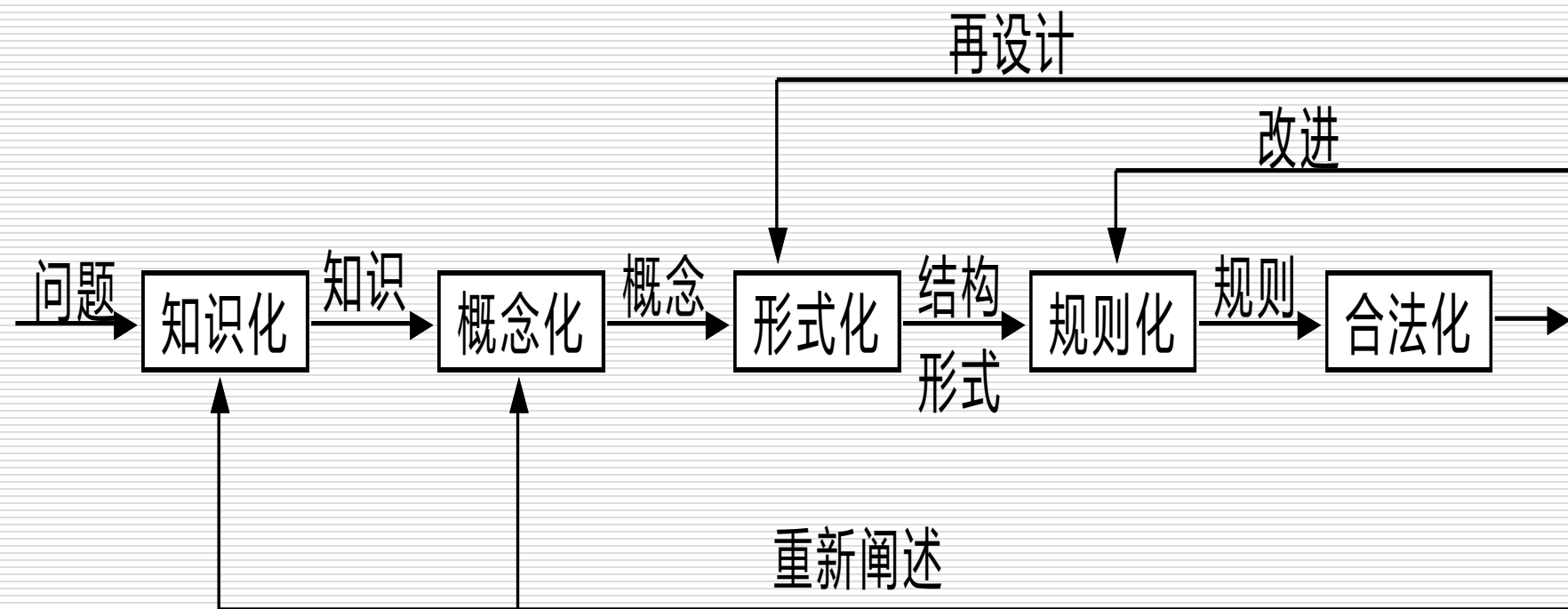


图 5.8 建立专家系统的步骤

# 专家系统的建造步骤

---

- 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
- 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



# 专家系统的设计技巧

---

- 设计系统时，首先集中精力研究一小部分假设，以及下述的观测或观察
  - 挑选那些最有利于区别各个假设的观测
  - 在决定规则时，首先从确认或区分各种假设所需的数量最少的观测组合开始
  - 把那些并不具有很强的预测或区别能力的观测组合起来，以便通过观测或结论之间的依赖关系来改善这些观测的区别能力
  - 建立中间假设。引入中间假设的目的是为了减少规则数量和简化推理过程
  - 以各种事例来试验所设计的系统
-

# 专家系统的评价

---

## □ 评价专家系统的意义

- 对系统的评价渗透到整个系统的建立过程，并且对改进系统设计和性能起关键作用。每当改变、增加、删除知识库中的规则时，每当修改或扩展推理程序的规则时，或每当改进知识表达方法时，所采取的措施都是根据对系统的非正式的评价
- 在系统的评价和改进过程中进行的各种试验，将得到可靠的数据，这将有助于提高人工智能作为一门科学的信誉



# 专家系统的评价

---

## □ 评价专家系统的方法

- 第一种是简单地启发式地利用一组例子说明系统的性能
- 第二种方法是实验的方法，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。困难：实现这种方法和得到有代表性的事例、肯定的结束点、独立的专家评价

# 专家系统的评价

## □ 评价专家系统的内容

- 系统所作的决定和建议的质量
- 所用推理技术的正确性
- 人和计算机之间对话的质量
  - 在提问和由程序来产生解答时用词的选择
  - 专家系统解释它如何作出决策的基本能力以及使系统的解释适合于使用者专门知识水平的能力
  - 当使用者对系统要求他们做的事情疑惑不解时，或在使用程序时因为某种原因需要帮助时，专家系统对使用者提供帮助的能力
  - 专家系统以容易理解的方式或以使用者熟悉的术语来提出建议或向使用者进行解释。
- 效率
- 成本效果(或工程经济分析)

# 专家系统工具

---

- 必要性：使用通用工具建造专家系统,无须从头开始
- 专家工具分类
  - 专家系统外壳
    - 将某些专家系统中的知识库中的知识抽掉,形成外壳
    - 构建专家系统时,将领域知识补充到外壳中
    - 例子:EMYCIN, KAS,EXPERT
    - 适用于解决与原来系统相似的问题

# 专家系统工具

---

## □ 专家工具分类

### ■ 语言开发工具

- 提供给用户的是建立专家系统所需要的基本机制,控制策略不仅限于几种形式,用户可以通过一定的手段来影响其控制策略
- 通用性好,但是使用起来较为困难
- 例子:OPS5, CLIPS, OPS83, RLL ,ROSIE

### ■ 构造辅助工具

- 由一些程序模块组成,
- 有些模块能够帮助获得专家知识:知识获取辅助工具, TEIRESIAS
- 有些模块能够设计专家系统的结构,设计辅助系统, AGE

# 专家系统工具

---

## □ 专家工具分类

### ■ 支撑环境

□ 帮助进行程序设计的工具,被作为知识工程语言的一部分

### □ 组件

- 调试辅助工具
- 输入输出设施
- 解释设施
- 知识库编辑库

# 专家系统设计举例

---

## ☐ 设计任务涉及

- 描述专家知识
- 应用专家知识
- 解释和决策

## ☐ 专家知识描述

### ■ 3 种表达成分

- ☐ 假设或结论：由系统推理出来的可能结论，有一个不确定的度量
- ☐ 观察或观测：观察或量测，值：数字，真假，不知道
- ☐ 推理或决策规则：表示成产生式规则

# 结论的表示

---

- 结论表示的内容
  - 医疗系统中 对诊断和治疗的建议
  - 许多其它情况下 表示各种建议和解释
- 结论和假设通常具有一定程度的不确定性
- 表示的形式
  - 简写的助记符
  - 自然语句书写的正式说明语句

---

□ 例如汽车修理问题的表

FLOOD      汽缸里的汽油过多，阻碍了点  
火，简称为汽缸被淹

CHOKE      汽门堵塞

EMPTY      无燃料

FILT      燃料过滤器阻塞

CAB      电池电缆松脱或锈蚀

BATD      蓄电池耗尽

STRTR      启动器工作不正确



# 观测的表示

---

- 观测：得到结论需要的观察或者测量结果
- 表现形式
  - 逻辑值：真假
  - 不知道
  - 数字
- 表示方式
  - 选择题，对照表，数字回答

---

□ 以下是一些表示如何组织问题的例子：

选择题

Odor of gas in carburetor(汽化器中汽油的气味)

NGAS:无气味;MGAS:正常;LGAS:气味很浓

对照表 Type of problem(问题种类)

FCWS:汽车不能启动;FOTH:汽车有其它毛病

数字类型问题

TEMP:室外温度(华氏)

是非题

EGAS:油表读数为空

# 推理规则的表达

---

- 产生式规则按照观测和假设之间的逻辑关系分类
  - FF规则:从观测到观测的规则,规定那些可从已确定的观测直接推导出来的观测的真值
  - FH规则:从观测到假设的规则,可对产生式结论的可信程度进行量度
  - HH规则:从假设到假设的规则,用来规定假设之间的推理

---

□ 如果前灯不工作的观测是假

那么和前灯不工作有关的观测，也即HEAD(车头灯)，FTURN(转弯灯)和PARK(停车灯)不工作也都是假

这在EXPERT的表示法中可表示为以下FF规则：

FF规则  $F(\text{FRONT}, F) \rightarrow F(\text{HEAD: PARK}, F)$

其中， $F(\text{FRONT}, F)$ 表示观测FRONT是假；

$F(\text{HEAD: PARK}, F)$ 表示在问题调查表中排列次序在HEAD到PARK之间的所有观测都是假。对后灯，也可以类似地构成另一条规则：

$F(\text{REAR}, F) \rightarrow F(\text{TAIL: BU}, F)$

□ 下列规则表示如何简单地组合一对观测来推理出一个假设：

**FH规则  $F(\text{SCRNK}, T) \& F(\text{DIM}, T) \rightarrow H(\text{BATD}, 0.7)$**

(如果启动器旋转缓慢以及车头灯暗淡) (那么电池的电能完了的可信度是0.7)

以下规则表示把一个观测与一组替换物相组合的缩写表示。我们用  $[n:A, B, C, D]$  表示，为了满足整个条件，几个或更多的替换观测A、B、C、D必须被满足，或取真值为真。设  $n=1$ ，这使我们可以声明表的任何一个都是充分的。没有这样的表示法，我们就要分别写许多规则。

$F(\text{TEMP}, 0:50) \& [1:F(\text{SCRNK}, T), F(\text{OCRNK}, T)] \rightarrow H(\text{CHOK}, 0.7)$

(如果气温是在0到50度之间以及一个或更多的下述条件为真：启动器旋转缓慢，或根本不转)

(那么，气门被堵塞的可信度是0.7)

- 
- $F(\text{FCWS}, T) \& H(\text{FLOOD}, 0.2 : 1) \rightarrow H(\text{WAIT}, 0.9)$  (如果汽车不能发动并已经得出汽缸被淹的结论(其可信度为0.2到1之间))(那么等待10分钟或在启动时把风门踏板踩到最低处(其可信度为0.9))

# 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
  - 询问问题的策略
  - 决策的解释

# 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



---

□ 这里有一个汽车修理系统的例子，其中几个规则可同时被满足，都可被用于相同的假设：

□  $F(\text{NCRNK}, T) \& F(\text{DIM}, F) \rightarrow H(\text{STRTR}, 0.7)$

以上规则表示：如果启动器不转动 车头灯并不暗淡，那么启动器工作不正常(可信度为0.7)。

$F(\text{GRIND}, T) \rightarrow H(\text{STRTR}, 0.9)$

以上规则表示：如果启动器发生磨擦的噪声，那么启动器的工作不正常(可信度为0.9)

如果上述二个规则同时被满足，我们必须把0.7和0.9这二个可信度组合成一个数。这就是前面不确定推理中所介绍的多个规则支持同一事实时的情况。在EXPERT系统中采用记分函数来组合可信度。在此例子中，这二个规则的可信度都是正数。但是，可信度的范围可能从-1到+1。所以，在计算记分函数时，要考虑到可信度是在-1到+1的范围内这一点。

# 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
  - 对系统设计者的解释
  - 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

# 专家系统实例

---

- ❑ DENTRAL系统是个协助化学家分析有机化合物结构的专家系统，它采用扩展的产生与试验方法
- ❑ R1是DEC公司用于设计计算机配置的专家系统，它采用综合产生式系统的方法
- ❑ HEARSAY II是语音理解专家系统，它把理解语音所需的各种知识组织为相互作用的模块--知识源；各种知识源通过总数据库--黑板而相互联系
- ❑ MYCIN是用于医疗诊断的咨询专家系统。为了处理事实和规则的不确定性，MYCIN系统采用非精确推理

## 5.5 专家系统实例——MYCIN剖析

迄今为止，专家系统尚缺乏统一的理论来指导系统的设计与建造。随着应用范围的不同，专家系统所采用的方法可能有很大差别。例如，DENTRAL系统是个协助化学家分析有机化合物结构的专家系统，它采用扩展的产生与试验方法。R1是DEC公司用于设计计算机配置的专家系统，它采用与本章5.1.3节介绍的BAGGER系统相似的综合产生式系统的方法。HEABSAY—II是语音理解专家系统，它把理解语音所需的各种知识组织为相互作用的模块——知识源；各种知识源通过总数据库——黑板而相互联系。MYCIN是用于医疗诊断的咨询专家系统。为了处理事实和规则的不确定性，MYCIN系统采用非精确推理。专家系统是很复杂的程序系统，很难在不大的篇幅内详细和全面地介绍。本节仅以MYCIN系统为例，着重介绍该专家系统的用途、主要结构、知识表示方法、推理方法和大致工作过程等，以期对专家系统有更深入的了解。

### 5.5.1 MYCIN概述

MYCIN系统是由斯坦福(Stanford)大学建立的对细菌感染疾病的诊断和治疗提供咨询的计算机咨询专家系统。医生向系统输入病人信息，MYCIN系统对之进行诊断，并提出处方。

细菌传感疾病专家在对病情诊断和提出处方时，大致遵循下列4个步骤：

- (1) 确定病人是否有重要的病菌感染需要治疗。为此，首先要判断所发现的细菌是否引起了疾病。
- (2) 确定疾病可能是由四种病菌引起的。
- (3) 判断哪些药物对抑制这种病菌可能有效。
- (4) 根据病人的情况，选择最适合的药物。

这样的决策过程很复杂，主要靠医生的临床经验和判断。MYCIN系统试图用产生式规则的形式体现专家的判断知识，以模仿专家的推理过程。



系统通过和内科医生之间的对话收集关于病人的基本情况，例如临床情况、症状、病历以及详细的实验室观测数据等。系统首先询问一些基本情况。内科医生在回答询问时所输入的信息被用于作出诊断。诊断过程中如需要进一步的信息，系统就会进一步询问医生。一旦可以作出合理的诊断，MYCIN就列出可能的处方，然后在与医生作进一步对话的基础上选择适合于病人的处方。

在诊断引起疾病的细菌类别时，取自病人的血液和尿等样品，在适当的介质中培养，可以取得某些关于细菌生长的迹象。但要完全确定细菌的类别经常需要24到48小时或更长的时间。在许多情况下，病人的病情不允许等待这样长的时间。因此，医生经常需要在信息不完全或不十分准确的情况下，决定病人是否需要治疗，如果需要治疗的话，应选择什么样的处方。因此，MYCIN系统的重要特性之一是以不确定和不完全的信息进行推理。

为使内科医生乐于使用这个系统，MYCIN具有以下特性：系统可以用英语和使用者进行对话，所以未经专门训练，医生就可以使用这个系统。系统具有解释能力，可以解答使用者提出的问题，帮助使用者理解MYCIN是如何作出决策的。系统便于使用，它可以识别同义字，可以处理输入时单词的拼法错误等。

MYCIN系统由3个子系统组成：咨询于系统，解释于系统和规则获取子系统，如图5.9所示。系统所有信息都存放在2个数据库中：静态数据库存放咨询过程中用到的所有规则，因此，它实际上是专家系统的知识库；动态数据库存放关于病人的信息，以及到目航为止咨询中系统所询问的问题。每次咨询，动态数据都要置建一次。

咨询开始时，先启动咨询系统，进入人—机对话状态。在对话过程中，系统向用户提出必要的问题，进行推理。所询问的问题取决于用户以前所作的回答。系统只在根



据已有的信息无法推论所需的信息时才询问。如果医生对咨询的某些部分有疑问，例如，想知道为什么要向用户询问某个特定的问题，他可暂停咨询，向系统提出问题。这时系统将给予解释，并示范系统所希望回答的例子。然后系统又重新返回到咨询过程。

当结束咨询时，系统自动地转入解释子系统。解释子系统回答用户的问题，并解释推理过程。解释时，系统显示用英语形式表示的规则，并说明为什么需要某种信息，以及如何得到某个结论。这样做的主要目的是为了使医生容易接受系统的结论。

规则获取系统只由建立系统的知识工程师所使用。当发现有规则被遗漏或不完善时，知识工程师可以利用这个系统来增加和修改规则。

MYCIN系统是用INTERLISP语言编写的。初始的系统包含有200条关于细菌血症的规则，可以识别大概50种细菌。

以后该系统又经过了扩展和改进，使其可以诊断和治疗脑膜炎。同时又有人以MYCIN的控制机构和数据结构为基础发展了和应用范围无关的系统，称之为MYCIN(Essential MYCIN)，即专家系统开发工具。

对MYCIN系统所作的正式鉴定表明在对细菌血症和脑膜炎病人的诊断和选择处方方面，MYCIN系统比传染病方面的专家高明。但到目前为止，系统还不能用于临床，其主要原因是系统缺乏传染病方面的全面知识。

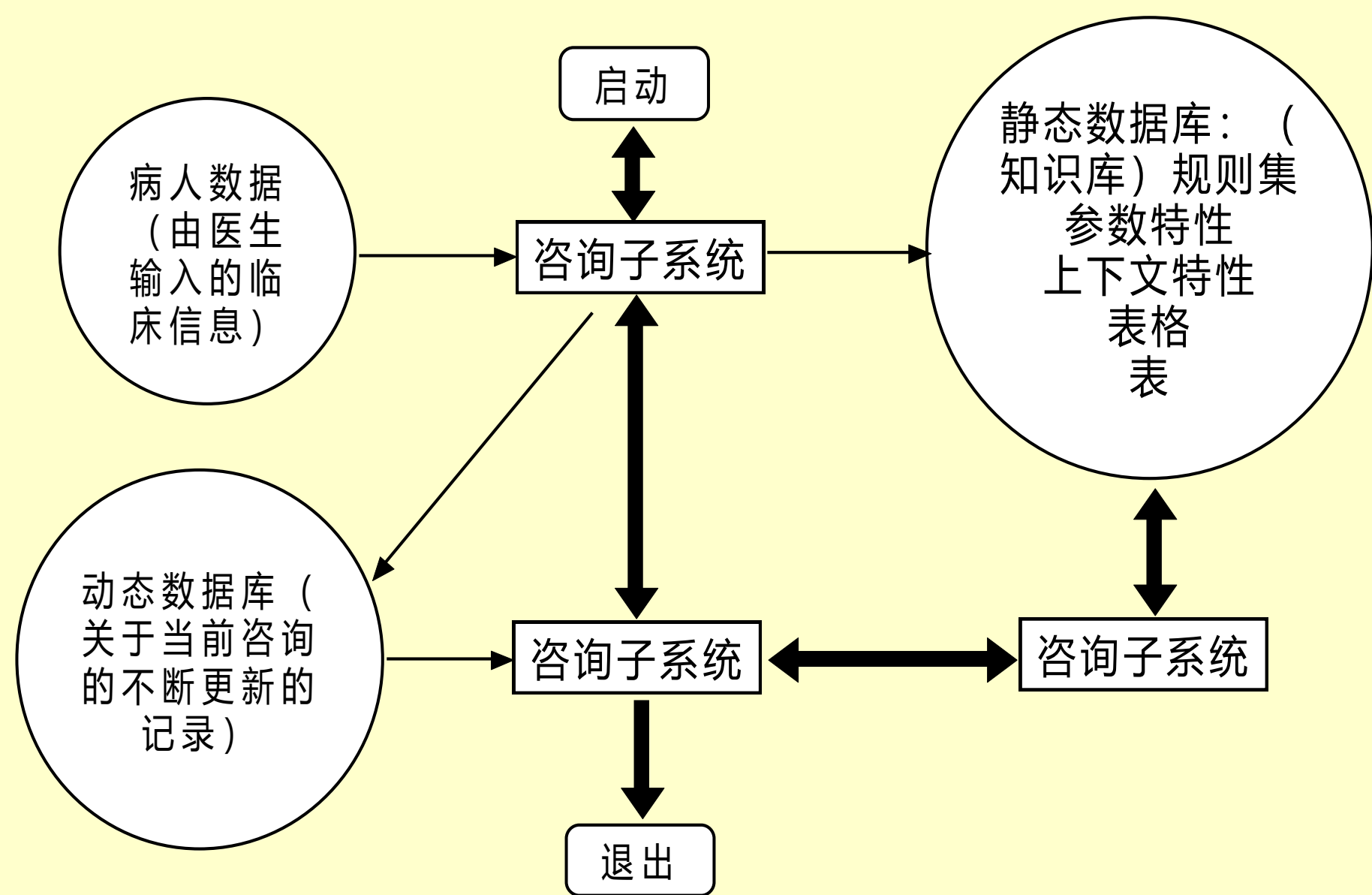


图 5.9 MYCIN 系统中的信息流及信息流控制流程图

# 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，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。
- ❑ 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。
- ❑ 本章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。
- ❑ 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。