

第2章 确定性知识系统

按照符号主义的观点，知识是一切智能行为的基础，要使计算机具有智能，首先必须使它拥有知识，并且能够使用知识。

2.1 确定性知识系统概述

2.2 确定性知识表示方法

2.3 确定性知识推理方法

2.1 确定性知识系统概述

2.1.1 确定性知识表示概述

- 1.知识的概念
- 2.知识的类型
- 3.知识表示的概念
- 4.知识表示方法

2.1.2 确定性知识推理概述

1.知识的概念

一般性观点

知识是人们在改造客观世界的实践中积累起来的认识和经验

信息加工观点

知识是对信息进行智能性加工所形成的对客观世界规律性的认识。

知识 = 信息 + 关联

常用的关联形式： 如果 ..., 则 ...

代表性解释

(1) **Feigenbaum**: 知识是经过剪裁、塑造、解释、选择和转换了的信息

(2) **Bernstein**: 知识由特定领域的描述、关系和过程组成

(3) **Heyes-Roth**: 知识=事实+信念+启发式

2.知识的类型

按知识的适用范围

常识性知识：通用通识的、普遍知道的、适应所有领域的知识。

领域性知识：面向某个具体专业领域的知识。如：专家经验。

按知识的作用效果

陈述性知识或事实性知识（零级）：用于描述事物的概念、定义、属性，或状态、环境、条件等；回答“是什么？”

过程性知识或程序性知识（一级）：用于问题求解过程的操作、演算和行为的知识，即如何使用事实性知识的知识。回答“怎么做？”

控制性知识或策略性知识（二级）：是关于如何使用过程性知识的知识，如：推理策略、搜索策略、不确定性的传播策略。

按知识的确定性

确定性知识：可以给出其“真”、“假”的知识。

不确定性知识：具有不确定特性（不精确、模糊、不完备）的知识。

3.知识表示的概念

知识表示的解释

知识表示是对知识的描述，即用一组符号把知识编码成计算机可以接受的某种结构。其表示方法不唯一。

知识表示的要求

表示能力：

是指能否正确、有效地将问题求解所需要的知识表示出来。

可利用性：是指表示方法应有利于进行有效的知识推理。包括：对推理的适应性，对高效算法的支持程度

可组织性与可维护性：

可组织性是指可以按某种方式把知识组织成某种知识结构。

可维护性是指要便于对知识的增、删、改等操作

可理解性与可实现性：

可理解性是指知识应易读、易懂、易获取等

可实现性是指知识的表示要便于计算机上实现

4.知识表示方法

知识表示方法也称知识表示技术，其表示形式被称为知识表示模式。

知识表示的基本方法

非结构化方法：

一阶谓词逻辑

产生式规则

结构化方法：

语义网络

框架

2.1 确定性知识系统概述

2.1.1 确定性知识表示概述

2.1.2 确定性知识推理概述

1. 推理的概念
2. 推理方法及其分类
3. 推理控制策略及其分类

1. 推理的概念

按照心理学的观点，推理是由具体事例归纳出一般规律，或者根据已有知识推出新的结论的思维过程。心理学对推理有两种解释：

从结构的角度：

推理由两个以上的判断所组成，是一种对已有判断进行分析和综合，再得出新的判断的过程。例如，若有以下两个判断：

① 计算机系的学生都会编程序；

② 程强是计算机系的一名学生；

则可得出下面第三个判断：

③ 程强会编程序。

从过程的角度：

认为推理是在给定信息和已有知识的基础上的一系列加工操作，Kurtz提出了如下人类推理的公式：

$$y=F(x, k)$$

其中， x 为推理时给出的信息， k 为推理时可用的领域知识和特殊事例， F 为可用的一系列操作， y 为推理过程所得到的结论。

2. 推理方法及其分类

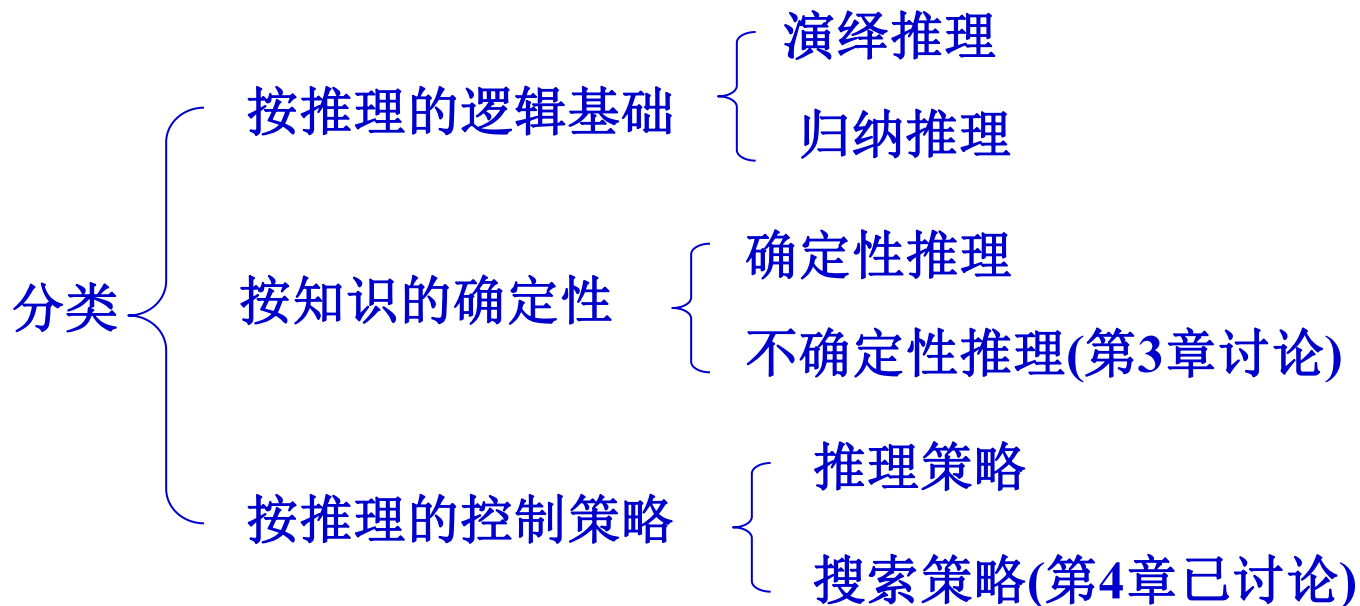
推理方法解决的主要问题：

推理过程中前提与结论之间的逻辑关系；

不确定性推理中不确定性的传递问题。

推理方法的分类形式：

可有多种不同的分类方法.例如：



2. 推理方法及其分类

按所用知识的确定性分类

确定性推理

指推理所用知识和推出的结论都是可以精确表示的。本章讨论：

产生式推理

自然演绎推理

归结演绎推理

不确定性推理

指推理所用知识和推出的结论都是不确定的。放在第3章讨论：

概率推理

可信度推理

主观Bayes推理

证据理论

模糊推理

第2章 确定性知识系统

按照符号主义的观点，知识是一切智能行为的基础，要使计算机具有智能，首先必须使它拥有知识，并且能够使用知识。

2.1 确定性知识系统概述

2.2 确定性知识表示方法

2.3 确定性知识推理方法

2.2 确定性知识表示方法

2.2.1 谓词逻辑表示法

1. 谓词逻辑表示的逻辑学基础
2. 谓词逻辑表示方法
3. 谓词逻辑表示的应用
4. 谓词逻辑表示的特性

2.2.2 产生式表示法

2.2.3 语义网络表示法

1.谓词逻辑表示的逻辑学基础

命题

断言：一个陈述句称为一个断言。

命题：具有真假意义的断言称为命题。（定义2.1）

真值

T：表示命题的意义为真

F：表示命题的意义为假

说明：

一个命题不能同时既为真又为假

一个命题可在一定条件下为真，而在另一条件下为假

论域

由所讨论对象的全体构成的集合。也称为个体域

论域中的元素称为个体

1.谓词逻辑表示逻辑学基础

谓词

用来表示谓词逻辑中命题，形如 $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 。其中

P 是谓词名，即命题的谓语，表示个体的性质、状态或个体之间关系； x_1, x_2, \dots, x_n 是个体，即命题的主语，表示独立存在的事物或概念。

例如： $\text{GREATER}(x, 6)$ ，表示 x 大于6

连词：

\neg ：“非”或者“否定”。表示对其后面的命题的否定

\vee ：“析取”。表示所连结的两个命题之间具有“或”的关系

\wedge ：“合取”。表示所连结的两个命题之间具有“与”的关系。

\rightarrow ：“条件”或“蕴含”。表示“若...则...”的语义。

其中， P 称为条件的前件， Q 称为条件的后件。

\leftrightarrow ：称为“双条件”。它表示“当且仅当”的语义。

例如，对命题 P 和 Q ， $P \leftrightarrow Q$ 表示“ P 当且仅当 Q ”，

2.谓词逻辑表示方法

表示步骤

- (1)先根据要表示的知识定义谓词
- (2) 再用连词、量词把这些谓词连接起来

简例

例2.1 表示知识“所有教师都有自己的学生”。

解：先定义谓词：

$T(x)$ ：表示 x 是教师。

$S(y)$ ：表示 y 是学生。

$TS(x, y)$ ：表示 x 是 y 的老师。

然后将知识表示如下：

$$(\forall x)(\exists y)(T(x) \rightarrow TS(x, y) \wedge S(y))$$

可读作：对所有 x ，如果 x 是一个教师，那么一定存在一个个体 y ， y 是学生，且 x 是 y 的老师。

2.谓词逻辑表示方法

例2.2 表示知识“所有的整数不是偶数就是奇数”。

解：先定义谓词：

$I(x)$: x 是整数, $E(x)$: x 是偶数, $O(x)$: x 是奇数

然后再将知识表示为：

$(\forall x)(I(x) \rightarrow E(x) \vee O(x))$

例2.3 表示如下知识：

王宏是计算机系的一名学生。

王宏和李明是同班同学。

凡是计算机系的学生都喜欢编程序。

解：先定义谓词：

$CS(x)$: 表示 x 是计算机系的学生。

$CM(x,y)$: 表示 x 和 y 是同班同学。

$L(x,y)$: 表示 x 喜欢 y 。

然后再将知识表示为：

$CS(\text{Wang hong})$

$CM(\text{Wanghong}, \text{Li ming})$

$(\forall x)(CS(x) \rightarrow L(x, \text{programming}))$

4.谓词逻辑表示的特征

主要优点

自然：一阶谓词逻辑是一种接近于自然语言的形式语言系统，谓词逻辑表示法接近于人们对问题的直观理解

明确：有一种标准的知识解释方法，表示的知识明确、易于理解

精确：谓词逻辑的真值只有“真”与“假”，其表示、推理都是精确的

灵活：知识和处理知识的程序是分开的，无须考虑处理知识的细节

模块化：知识之间相对独立，这种模块性使得添加、删除、修改知识比较容易进行

主要缺点

知识表示能力差：只能表示确定性知识，而不能表示非确定性知识、过程性知识和启发式知识

知识库管理困难：缺乏知识的组织原则，知识库管理比较困难

存在组合爆炸：由于难以表示启发式知识，因此只能盲目地使用推理规则，这样当系统知识量较大时，容易发生组合爆炸

系统效率低：它把推理演算与知识含义截然分开，抛弃了表达内容中所含有的语义信息，往往使推理过程冗长，降低了系统效率

2.2 确定性知识表示方法

2.2.1 谓词逻辑表示法

2.2.2 产生式表示法

1. 产生式表示的基本方法
2. 产生式表示的例子
3. 产生式表示的特性

2.2.3 语义网络表示法

1.产生式表示的基本方法

产生式表示法也叫产生式规则，或简称规则。

规则的基本形式

IF P THEN Q 或者 $P \rightarrow Q$

其中，P是前提，也称或前件；Q是结论，也称后件，给出当P满足时，应该推出的结论或执行的动作。

2.产生式表示简例

下面给出一个简化的动物识别例子，仅包括动物识别系统中的两条规则：

r_3 : IF 动物有羽毛 THEN 动物是鸟

r_{15} : IF 动物是鸟 AND 动物善飞 THEN 动物是信天翁

其中， r_3 和 r_{15} 是上述两条规则在动物识别系统中的规则编号，一般称为规则号。

r_3 :

前提条件是“动物有羽毛”

结论是“动物是鸟”

r_{15} :

前提条件是一个复合条件“动物是鸟 AND 动物善飞”，它是两个子条件的合取。

结论是“动物是信天翁”

3.产生式表示的特性

主要优点

自然性：采用“如果……，则……”的形式，与人类的判断性知识基本一致。

模块性：规则是规则库中最基本的知识单元，各规则之间只能通过综合数据库发生联系，而不能相互调用，从而增加了规则的模块性。

有效性：产生式知识表示法既可以表示确定性知识，又可以表示不确定性知识，既有利于表示启发性知识，又有利于表示过程性知识。

主要缺点

效率较低：各规则之间的联系必须以综合数据库为媒介。并且，其求解过程是一种反复进行的“匹配—冲突消解—执行”过程。这样的执行方式将导致执行的低效率。

不便于表示结构性知识：由于产生式表示中的知识具有一致格式，且规则之间不能相互调用，因此那种具有结构关系或层次关系的知识则很难以自然的方式来表示。

2.2 确定性知识表示方法

2.2.1 谓词逻辑表示法

2.2.2 产生式表示法

2.2.3 语义网络表示法

1. 语义网络概述
2. 事物和概念的表示
4. 语义网络的基本推理过程
5. 语义网络表示的特征

1.语义网络概述

语义网络是一种用实体及其语义关系来表达知识的有向图。

结点：代表实体，表示事物、概念、情况、属性、状态、事件、动作等

弧：代表语义关系，表示所连两个实体之间的语义联系，必须带有标识

语义基元

语义网络中最基本的语义单元称为语义基元，可用三元组表示为：
(结点1，弧，结点2)

基本网元

指一个语义基元对应的有向图，是语义网络中最基本的结构单元

例如：语义基元 (A, R, B) 所对应的基本网元，如图2-3所示。



图2-3

例2.6 用语义基元表示“鸵鸟是一种鸟”这一事实。

解：如图2-4所示。



图2-4

说明：弧的方向不可随意调换。

1.语义网络概述

基本语义关系

实例关系：ISA

体现的是“具体与抽象”的概念，含义为“是一个”，表示一个事物是另一个事物的一个实例。例“李刚是一个人”，如图2-6。



图2-6 实例关系



图2-7 分类关系

分类关系：AKO

也称泛化关系，体现的是“子类与超类”的概念，含义为“是一种”，表示一个事物是另一个事物的一种类型。例“机器人是一种机器”，如图2-7。

成员关系：A-Member-of

体现的是“个体与集体”的关系，含义为“是一员”，表示一个事物是另一个事物的一个成员。例“张强是共青团员”，如图2-8。



图2-8 成员关系

上述关系的主要特征

属性的继承性，即处在具体层的结点可以继承抽象层结点的所有属性。

1.语义网络概述

基本语义关系

属性关系

指事物和其属性之间的关系。常用的有：

Have: 含义为“有”，表示一个结点具有另一个结点所描述的属性

Can: 含义为“能”、“会”，表示一个结点能做另一个结点的事情

例如：“鸟有翅膀”，如图2-9



图2-9 属性关系

包含关系（聚类关系）

指具有组织或结构特征的“部分与整体”之间的关系。常用的包含关系是：

Part-of: 含义为“是一部分”，表示一个事物是另一个事物的一部分。

例如，“大脑是人体的一部分”，如图2-11

再如，“黑板是墙体的一部分”，如图2-12

聚类关系与实例、分类、成员关系的主要区别

聚类关系一般不具备属性的继承性。

如上例，大脑不一定具有人的各种属性

黑板也不具有墙的各种属性。



图2-11 包含关系



图2-12 包含关系二

1.语义网络概述

基本语义关系

时间关系

指不同事件在其发生时间方面的先后次序关系。

常用的时间关系有：

Before: 含义为“在前”

After: 含义为“在后”



图2-13 时间关系

位置关系

指不同事物在位置方面的关系。常用的有：

Located-on: 含义为“在...上面”

Located-under: 含义为“在...下面”

Located-at: 含义为“在...”



图2-14 位置关系

相近关系

指不同事物在形状、内容等方面相似或接近。

常用的相近关系有：

Similar-to: 含义为“相似”

Near-to: 含义为“接近”



图2-15 相似关系

2.事物和概念的表示

表示一元关系

一元关系是指可以用一元谓词 $P(x)$ 表示的关系。谓词 P 说明实体的性质、属性等。

常用：“是”、“有”、“会”、“能”等语义关系来说明。如，“雪是白的”。

一元关系的描述

一个一元关系就是一个语义基元，可用一个基本网元来表示。其中，结点1表示实体，结点2表示实体的性质或属性等，弧表示语义关系。

例如，“李刚是一个人”为一元关系，其语义网络如前所示。

例2.7 用语义网络表示“动物能运动、会吃”。

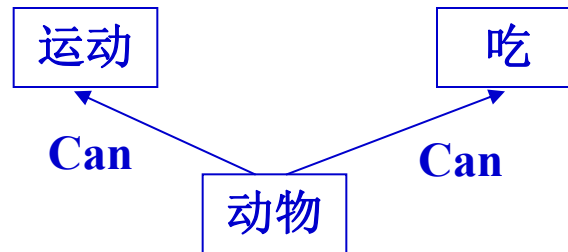


图2-16 动物的属性

2.事实和概念的表示

表示二元关系

二元关系是指可用二元谓词 $P(x,y)$ 表示的关系。其中， x,y 为实体， P 为实体之间的关系。

单个二元关系可直接用一个基本网元来表示。

复杂关系，可通过一些相对独立的二元或一元关系的组合来实现。

例2-8 用语义网络表示：

动物能运动、会吃。

鸟是一种动物，鸟有翅膀、会飞。

鱼是一种动物，鱼生活在水中、会游泳。

解：其语义网络表示如图2-17所示

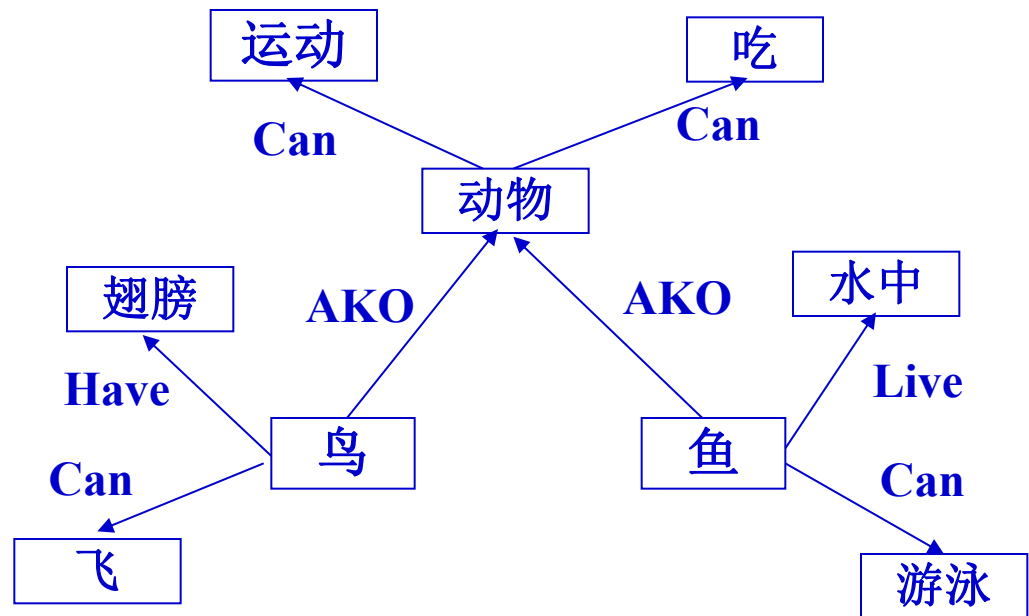


图2-17 动物分类的语义网络

2.事实 and 概念概念的表示

表示二元关系

例2-9 用语义网络表示:

王强是理想公司的经理;

理想公司在中关村;

王强28岁。

解: 其表示如图2.18所示



图2-18 经理王强的语义网络

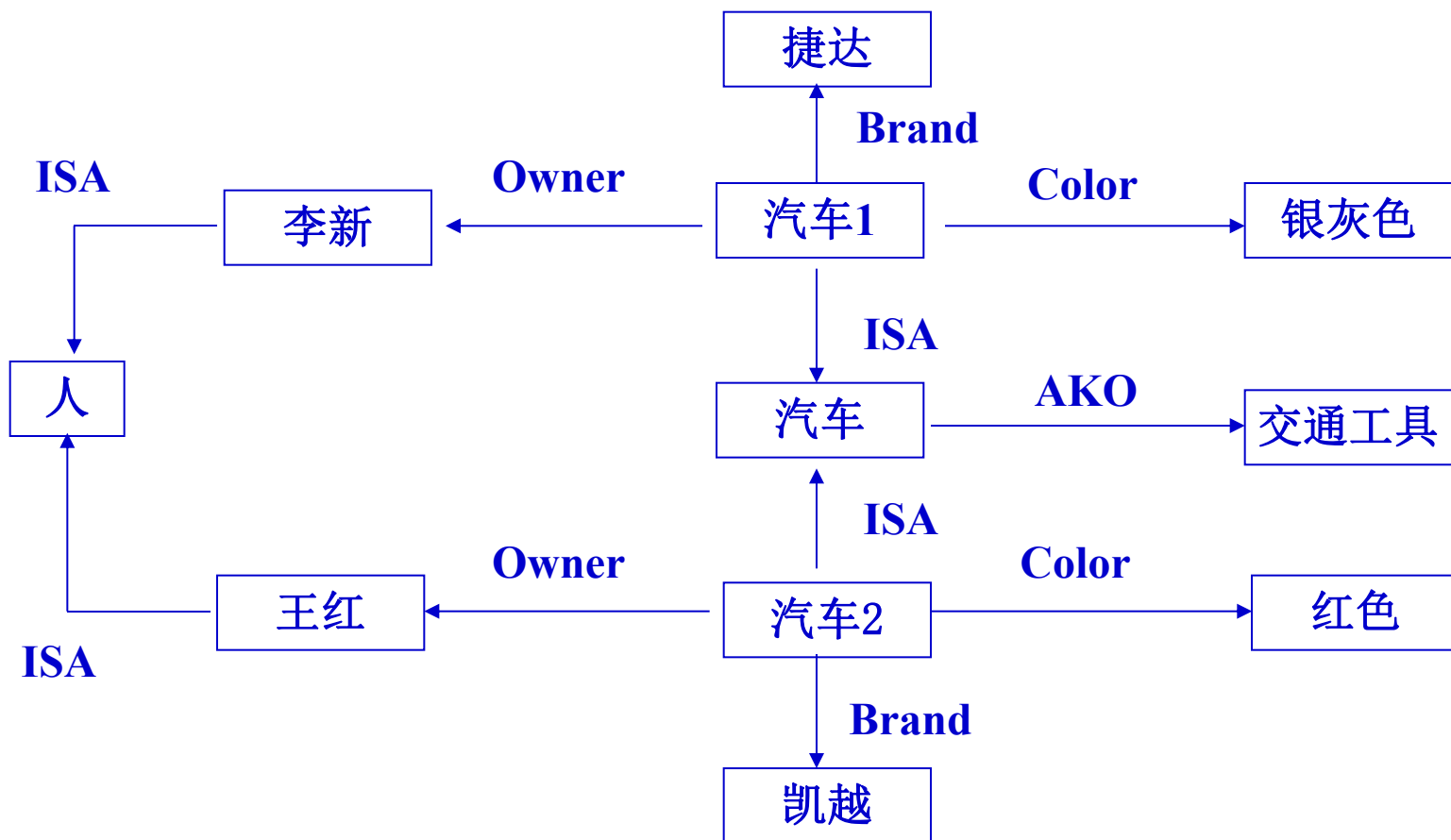
2.事物和概念的表示

表示二元关系

例2-10：李新的汽车是“捷达”、银灰色。

王红的汽车是“凯越”、红色。

解：李新和王红的汽车均属于具体概念,可增加“汽车”这个抽象概念



4.语义网络的基本推理过程

继承

用语义网络表示知识的问题求解系统主要由两大部分所组成，一部分是由语义网络构成的知识库，另一部分是用于问题求解的推理机构。语义网络的推理过程主要有两种，一种是继承，另一种是匹配。

继承的概念

是指把对事物的描述从抽象结点传递到实例结点。通过继承可以得到所需结点的一些属性值，它通常是沿着ISA、AKO等继承弧进行的。

继承的例子

在图2-17所示的语义网络中，通过继承关系可以得到“鸟”具有“会吃”、“能运动”的属性

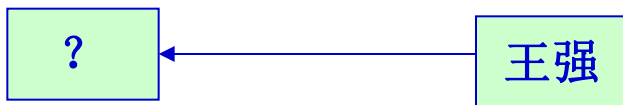
4.语义网络的基本推理过程

匹配

匹配是指在知识库的语义网络中寻找与待求解问题相符的语义网络模式。

匹配的例子

例2.13：假设图2-18的语义网络已在知识库中，问王强在哪个公司工作？
解：根据这个问题的要求，可构造如如下语义网络片断。



当用该语义网络片断与图2-18所示的语义网络进行匹配时，由“Work-for”弧所指的结点可知，职员王强工作在“理想公司”，这就得到了问题的答案。若还想知道职员王强的其它情况，则可在语义网络中增加相应的空结点。

5. 语义网络表示的特征

主要优点：

结构性 把事物的属性以及事物间的各种语义联系显式地表示出来，是一种结构化的知识表示方法。在这种方法中，下层结点可以继承、新增、变异上层结点的属性。

联想性 本来是作为人类联想记忆模型提出来的，它着重强调事物间的语义联系，体现了人类的联想思维过程。

自然性 语义网络可以比较直观把知识表示出来，符合人们表达事物间关系的习惯。

主要缺点：

非严格性 没有象谓词那样严格的形式表示体系，一个给定语义网络的含义完全依赖于处理程序对它所进行的解释，通过语义网络所实现的推理不能保证其正确性。

复杂性 语义网络表示知识的手段是多种多样的，这虽然对其表示带来了灵活性，但同时也由于表示形式的不一致，使得它的处理增加了复杂性。

2.3 确定性知识推理方法

智能系统的推理过程实际上就是一种思维过程。本章重点讨论确定性推理，不确定性推理放到第3章。

2.3.1 产生式推理

1. 产生式推理的基本结构
2. 产生式的正向推理

1. 产生式推理的基本结构

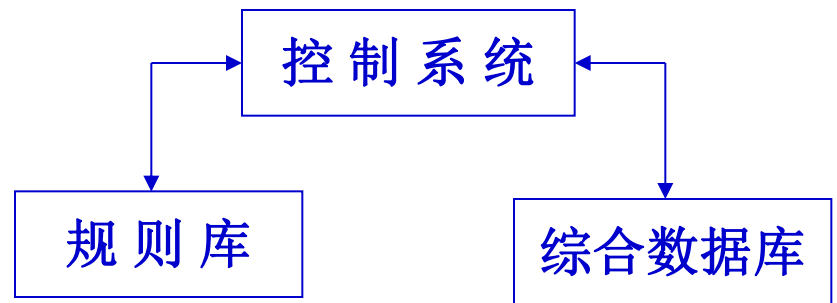
综合数据库DB(Data Base)

存放推理过程的各种当前信息。如：
问题的初始状态
输入的事实
中间结论及最终结论

规则库RB(Rule Base)

也称知识库KB(Knowledge Base)

用于存放推理所需要的所有规则，是整个产生式系统的知识集。
是产生式系统能够进行推理的根本



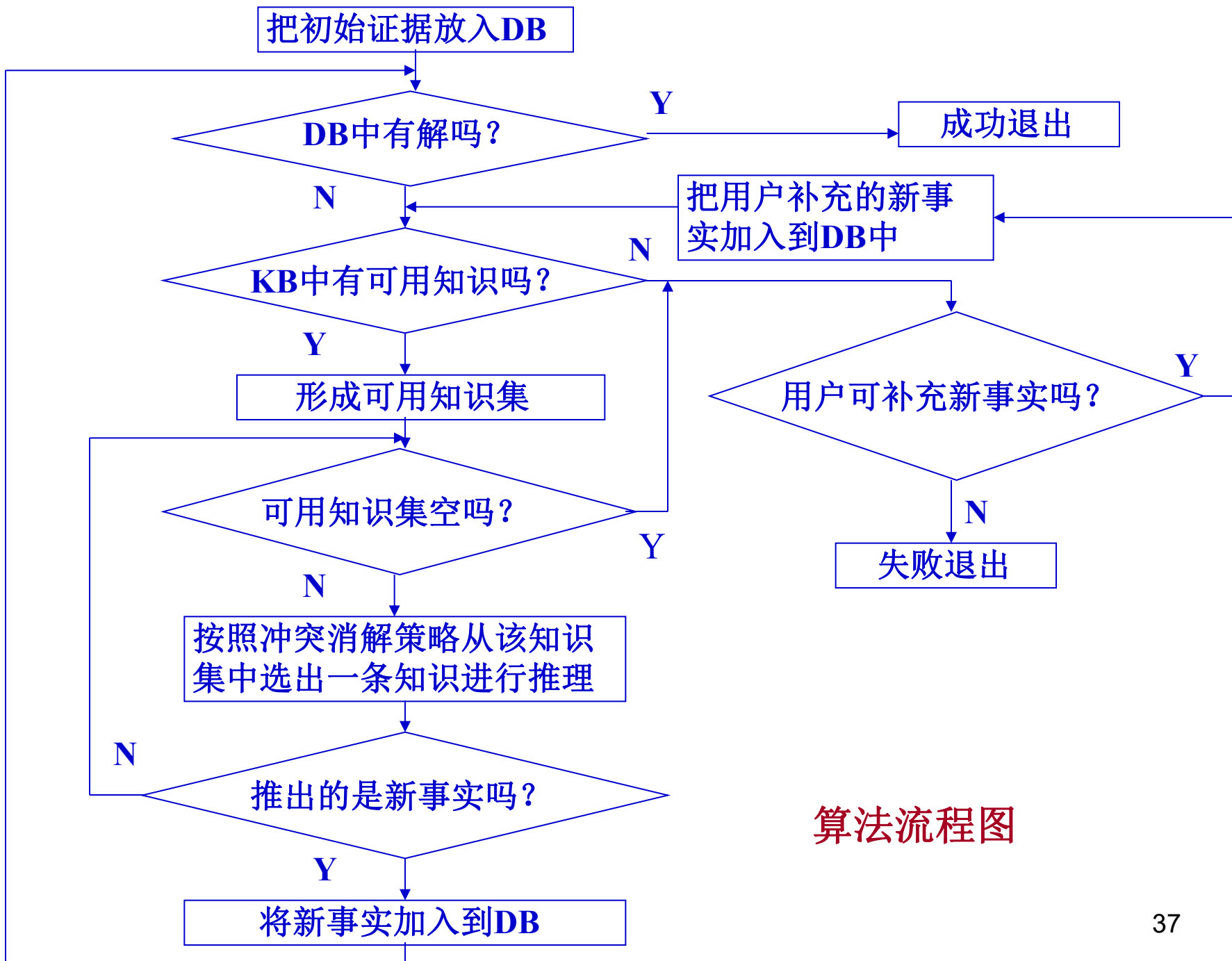
控制系统(Control system)

亦称推理机，用于控制整个产生式系统的运行，决定问题求解过程的推理线路。

2. 产生式的正向推理

从已知事实出发、正向使用规则，也称为数据驱动推理或前向链推理。
算法描述

- (1) 把用户提供的初始证据放入综合数据库；
 - (2) 检查综合数据库中是否包含了问题的解，若已包含，则求解结束，并成功退出；否则执行下一步；
 - (3) 检查知识库中是否有可用知识，若有，形成当前可用知识集，执行下一步；否则转(5)。
 - (4) 按照某种冲突消解策略，从当前可用知识集中选出一条规则进行推理，并将推出的新事实加入综合数据库中，然后转(2)。
 - (5) 询问用户是否可以进一步补充新的事实，若可补充，则将补充的新事实加入综合数据库中，然后转(3)；否则表示无解，失败退出。
- 至于如何根据综合数据库中的事实到知识库中选取可用知识，当知识库中有多条知识可用时应该先使用那一条知识等。这些问题涉及到了知识的匹配方法和冲突消解策略。



算法流程图

2. 产生式的正向推理

例子

例2.15请用正向推理完成以下问题的求解

假设知识库中包含有以下2条规则：

r_1 : IF B THEN C

r_2 : IF A THEN B

已知初始证据A，求证目标C。

解：推理过程如下：

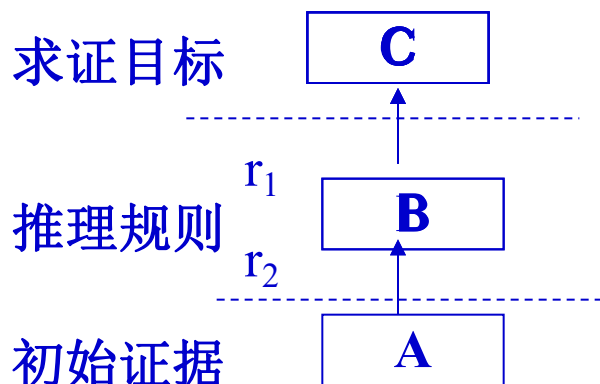
推理开始前，综合数据库为空。

推理开始后，先把A放入综合数据库，然后检查综合数据库中是否含有该问题的解，回答为“N”。

接着检查知识库中是否有可用知识，显然 r_2 可用，形成仅含 r_2 的知识集。从该知识集中取出 r_2 ，推出新的事实B，将B加入综合数据库，检查综合数据库中是否含有目标C，回答为“N”。

再检查知识库中是否有可用知识，此时由于B的加入使得 r_1 为可用，形成仅含 r_1 的知识集。从该知识集中取出 r_1 ，推出新的事实C，将C加入综合数据库，检查综合数据库中是否含有目标C，回答为“Y”。

它说明综合数据库中已经含有问题的解，推理成功结束，目标C得证。



2. 产生式的正向推理

例子

简化的动物识别例子，仅包括其中的 r_3 和 r_{15} 。

例2.16 设有以下两条规则

r_3 : IF 动物有羽毛 THEN 动物是鸟

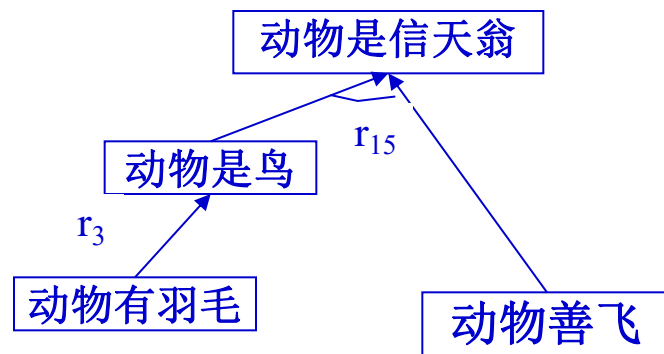
r_{15} : IF 动物是鸟 AND 动物善飞 THEN 动物是信天翁

其中， r_3 和 r_{15} 是上述两条规则在动物识别系统中的规则编号。假设已知有以下事实：

动物有羽毛，动物善飞

求满足以上事实的动物是何种动物。

解：由于已知事实“动物有羽毛”，即 r_3 的前提条件满足，因此 r_3 可用，承认的 r_3 结论，即推出新的事实“动物是鸟”。此时， r_{15} 的两个前提条件均满足，即 r_{15} 的前提条件满足，因此 r_{15} 可用，承认的 r_{15} 结论，即推出新的事实“动物是信天翁”。



例2.16的推理过程

Q14: 知识图谱及示例

or 自选 【本周六前与任课教师沟通确定】