

第 2 章 知识表示

教材：

王万良 《人工智能导论》（第4版）

高等教育出版社，2017.7

第2章 知识表示

- 人类的智能活动主要是获得并运用知识。知识是智能的基础。知识需要用适当的模式表示出来才能存储到计算机中去，因此，知识的表示成为人工智能中一个十分重要的研究课题。
- 本章将首先介绍知识与知识表示的概念，然后介绍一阶谓词逻辑、产生式、框架、语义网络等当前人工智能中应用比较广泛的知识表示方法，为后面介绍推理方法、神经网络等奠定基础。

第2章 知识表示

■ 2.1 知识与知识表示的概念

■ 2.2 一阶谓词逻辑表示法

■ 2.3 产生式表示法

■ 2.4 框架表示法

第2章 知识表示

✓ 2.1 知识与知识表示的概念

■ 2.2 一阶谓词逻辑表示法

■ 2.3 产生式表示法

■ 2.4 框架表示法

知识表示的概念

- 人工智能研究问题的方法，就是模拟人类的智能活动。人类智能活动的主要方式，就是获得和运用知识。可以说，知识是智能的基础。计算机要想具有智能，就必须能像人类一样具有知识。但知识需要用适当的方式来描述，以便于计算机访问和处理。这就是知识表示要解决的问题。
- **知识表示，就是将人类知识形式化或者模型化。**知识表示有许多方式，可以是一种符号描述、也可以是某种约定，也可以是某种数据结构。
- 知识表示问题贯穿了人工智能发展历程。广义上来说，知识表示问题甚至可以说贯穿了哲学和科学的发展历史。

哲学研究中的知识表示

- 到了十七世纪，德国数学家莱布尼茨就曾设想过，人类的知识可以用一组概念来表示，这些概念就是人类“思想的字母表”。有了这些字母表，人类的知识就可以字母间的逻辑运算得出。



哲学研究中的知识表示

- 莱布尼茨的思想被弗雷德的发扬光大。
1879年，哲学家弗雷格发表著作《概念文字》。该书中，弗雷格建立了一套符号体系，并尝试用这套符号体系表示包括数学在内的全部逻辑系统。
- 这套体系对后来的科学产生了深远影响。
可以说是知识符号化表示的鼻祖。



哲学研究中的知识表示

- 比如，古典哲学中的三段论，实际上就是哲学家对“推理知识”的一种表示。

如果：所有的人都是会死的，【大前提】
并且：苏格拉底是人， 【小前提】
则： 苏格拉底是会死的。 【结论】



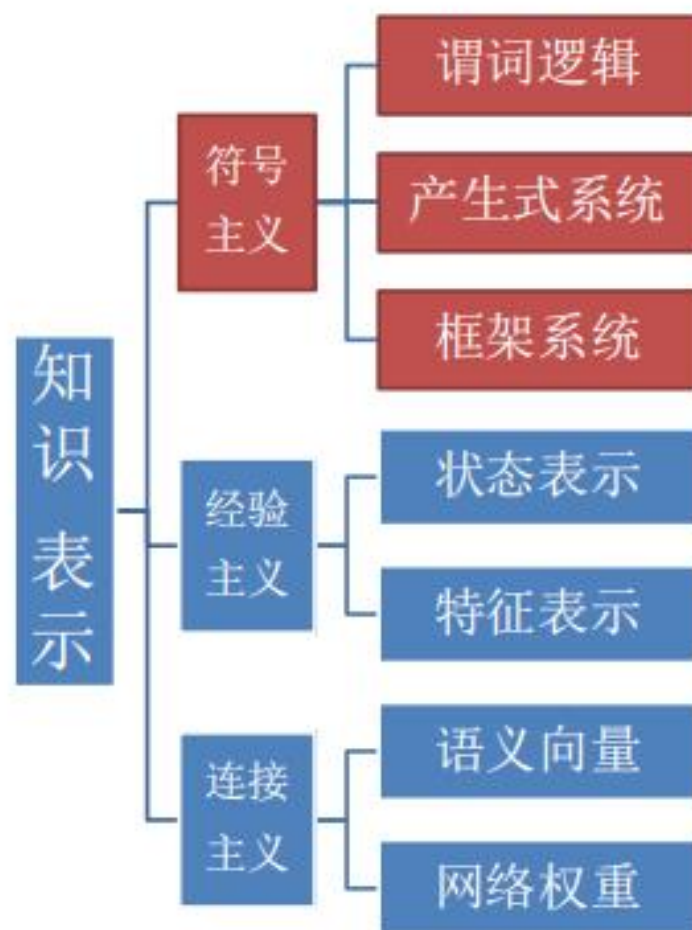
如果：所有 **B** 满足 A 【大前提】
并且：C 是 **B** 【小前提】
则： C 满足 A 【结论】

■ 概念--->判断--->推理

■ 推理: 由若干个已知的判断(前提), 推出新的判断(结论)的思维过程。

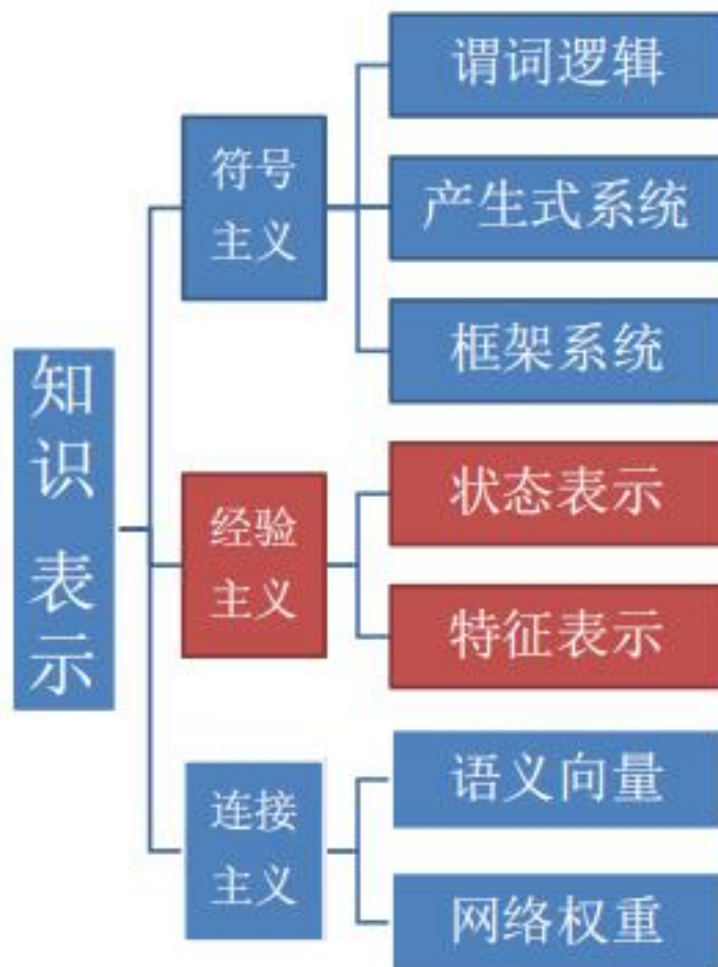
符号主义知识表示

- 早期的人工智能研究，主要采用符号主义，这里的符号其实就是表示知识的工具。
- 符号主义的本质，是用符号体系来描述知识，再对表示得到的符号公式进行计算，从而求解问题。



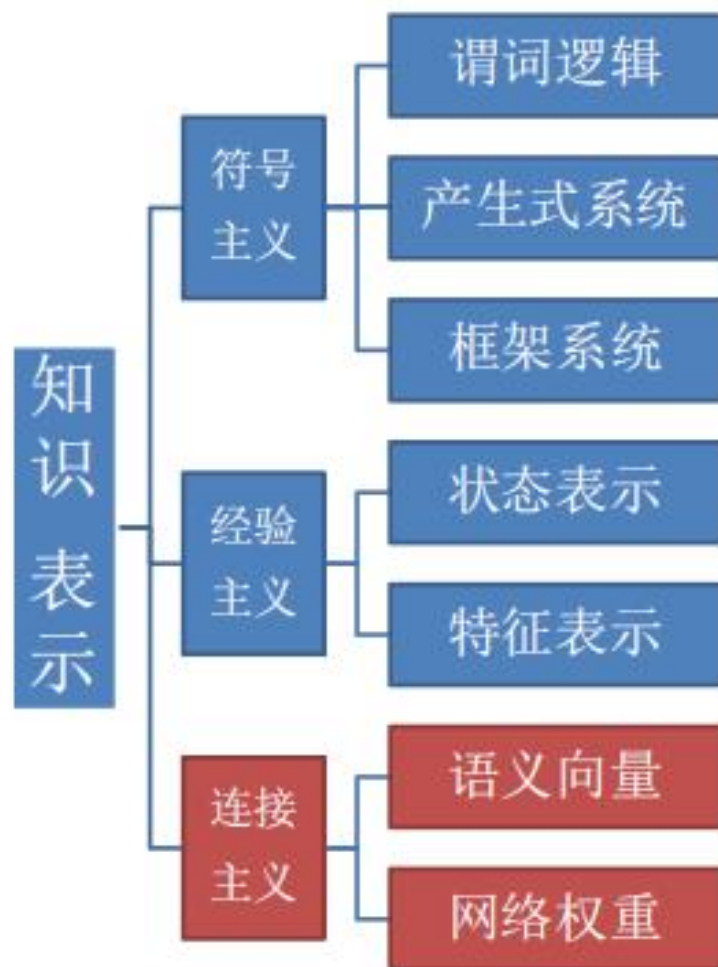
经验主义知识表示

- 在经验主义方法中，知识不再由人工抽象、归纳符号体系来得到，而是通过样本数据的状态、特征来间接体现。
- 在经验主义中，样本数据的特征表示，就对应了某种知识。智能系统通过“体验”样本特征，来获取知识。



连接主义知识表示

- 在连接主义中，知识的表示更加抽象。连接主义的核心就是要模拟人类大脑神经元连接的结构。
- 在这种情况下，从样本数据中获得的知識，就变为神经网络中的语义向量、网络权重。



2.1.1 知识的概念

- 知识：在长期的生活及社会实践中、在科学研究及实验中积累起来的对客观世界的认识与经验。
- 知识：把有关**信息关联**在一起所形成的信息结构。
- 知识反映了客观世界**事物之间**的**不同**信息关联形式：“如果……，则……”

如果大雁向南飞，则冬天就要来临了。

例如：

“雪是白色的” —— **事实**

“如果头痛且流涕，则有可能患了感冒” —— **规则**

2.1.2 知识的特性

1. 相对正确性

■ 任何知识都是在一定的条件及环境下产生的，在这种条件及环境下才是正确的。

$1+1=2$ （十进制）

$1+1=10$ （二进制）

2.1.2 知识的特性

知识状态：“真”

“假”

“真”与“假”之间的中间状态

2. 不确定性

① 随机性引起的不确定性

小李很高

② 模糊性引起的“如果头痛且流涕，则有可能患了感冒”

③ 经验引起的不确定性

④ 不完全性引起的不确定性

2.1.2 知识的特性

3. 可表示性与可利用性

- **知识的可表示性:** 知识可以用适当形式表示出来，如用语言、文字、图形、神经网络等。
- **知识的可利用性:** 知识可以被利用。

2.1.3 知识的表示

- 知识表示（**knowledge representation**）：将人类知识形式化或者模型化。
- 知识表示是对知识的一种描述，或者说是一组约定，一种计算机可以接受的用于描述知识的数据结构。
- 选择知识表示方法的原则：

- （1）充分表示领域知识。
- （2）有利于对知识的利用。
- （3）便于对知识的组织、维护与管理。
- （4）便于理解与实现。

本章内容

- 介绍基于逻辑规则的知识表示方法。这也是人工智能第一次发展浪潮中的研究热点之一。
- 内容包括：一阶谓词逻辑、产生式表示法、框架式表示法。

第2章 知识表示

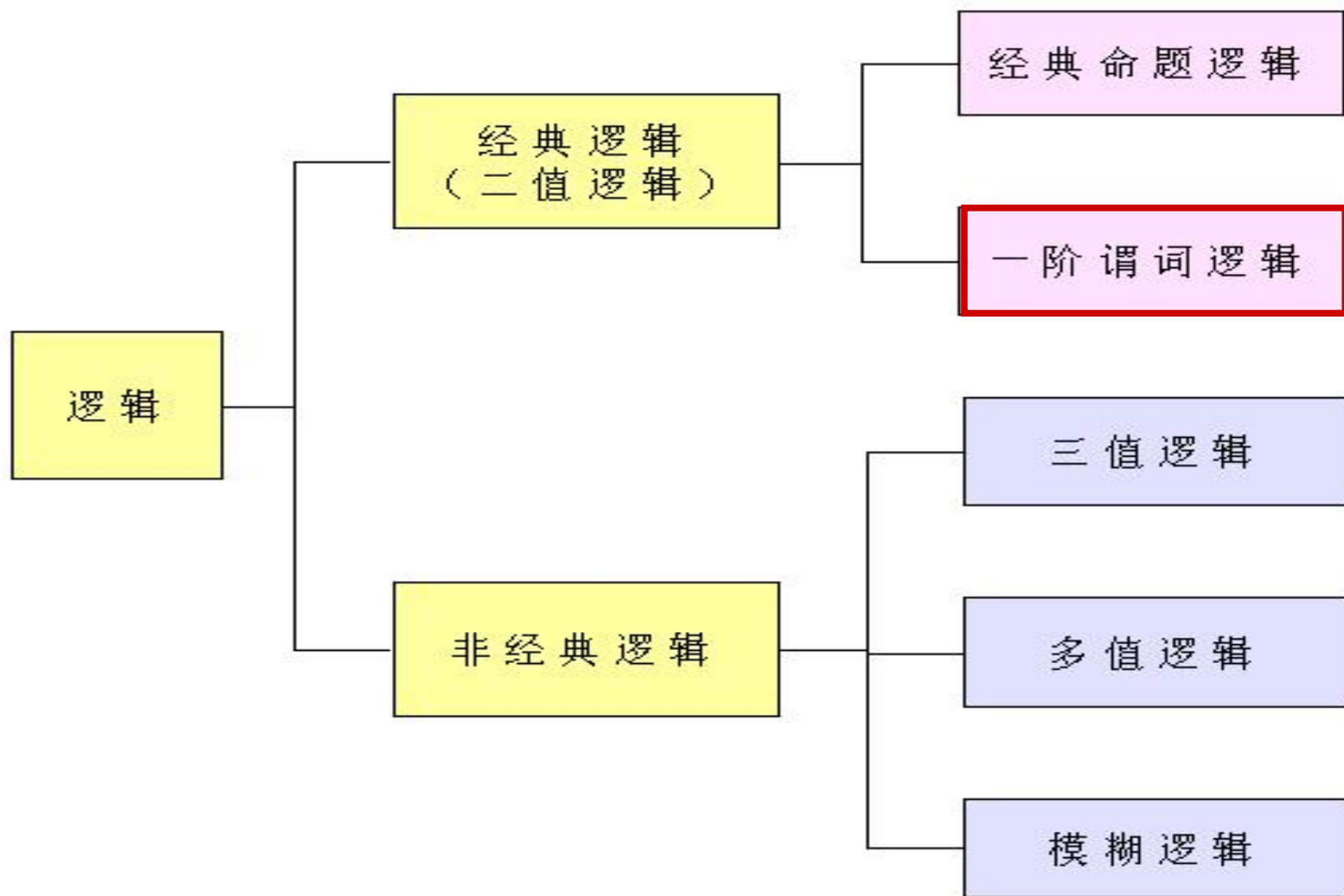
■ 2.1 知识与知识表示的概念

✓ 2.2 一阶谓词逻辑表示法

■ 2.3 产生式表示法

■ 2.4 框架表示法

2.2 一阶谓词逻辑表示法



2.2 一阶谓词逻辑表示法

- 2.2.1 命题
- 2.2.2 谓词
- 2.2.3 谓词公式
- 2.2.4 谓词公式的性质
- 2.2.5 一阶谓词逻辑知识表示方法
- 2.2.6 一阶谓词逻辑表示法的特点

2.2.1 命题

命题逻辑

- 我们首先来看命题逻辑的概念
- 命题：对客观世界的带有真假意义的确定性的陈述句。
 - 命题一定是陈述而不是疑问，也不是感叹；
 - 命题要有确定性，“他晚上可能会来”不是一个命题
 - 命题要有真假意义。
- 命题可以是单一命题，如“煤是白色的”，也可以是复合的，比如“香蕉具有黄色的皮并且内部是白色的”。

2.2.1 命题

■ 命题 (proposition) 表达判断的陈述句。

■ 若命题的意义为真，称它的真值为真，记为 T 。

■ 若命题的意义为假，称它的真值为假，记为 F 。

■ 一个命题可在一定条件下为假。

例如： $3 < 5$

例如：太阳从西边升起

P ：北京是中华人民共和国的首都

■ 命题逻辑：研究命题及命题之间关系的符号逻辑系统。

■ 命题逻辑表示法：无法把它所描述的事物的结构及逻辑特征反映出来，也不能把不同事物间的共同特征表述出来。

P ：老李是小李的父亲

P ：李白是诗人

Q ：杜甫也是诗人

- 判断一句话是否是命题有两个关键:
- 1. 是陈述句;
- 2. 有且只有一个真值。

■ 例:判定下面这些句子哪些是命题?

■ (1) 2是个素数。

■ (2) 雪是黑色的

■ (3) 2030年人类将到达火星

■ (4)如果天不下雨且我有时间，我就去看电影。

■ (5) $x+y<5$

■ (6) 请打开书!

■ (7) 您在吗?

■ (8)我正在说谎

- 命题的表示:
- 在本课程的系统里, 用大写字母表示。
- 例:
- P:今天下雨。
- Q1:小王是大学生。

1. 连接词（连词）

(1) \neg : “否定”（negation）或“非”。

表示：“并非，不等，用于对一个命题P的否定，写成 $\neg P$ ，并读成非P

(2) \vee : “析取”（disjunction）——或。

表示：两件事情可以同时发生，“或”。

(3) \wedge : “合取”（conjunction）——与。

表示：“并且”“不但...而且...”、“既...又.”、“尽管...还...”等。

两个命题 P 和 Q 的合取或析取是一个复合命题

2.2.3 谓词公式

1. 连接词（连词）

(4) \rightarrow : “蕴含” (implication) 或 “条件” (condition)

表示: “如果... 那么...” “若...则...”等; 读成“若P则Q”;

P是 $P \rightarrow Q$ 的前件, Q是 $P \rightarrow Q$ 的后件。P是Q的充分条件。Q是P的必要条件

(5) \leftrightarrow : “等价” (equivalence) 或 “双条件”
(bicondition) 。

表示: “当且仅当”, “充分必要”

2.2.1 命题

例2.1 利用命题逻辑表示知识

- 用大写英文字母表示命题中的实体和事实，配合逻辑符号，可以表示知识。
- 例：有A、B、C三位同学参加面试，面试官对三人进行了判断，得到如下几条想法：
 - (1) 三人中至少录取一人；
 - (2) 若录取A而不录取B，则一定录取C；
 - (3) BC要么都录取，要么都不录取；
 - (4) 若录取C，则一定录取A。

2.2.1 命题

- 我们令P、Q、R分别表示录取A、B、C，则老师的想法可以表示为：
 - (1) 三人中至少录取一人； // $P \vee Q \vee R$
 - (2) 若录取A而不录取B，则一定录取C； // $P \wedge \neg Q \rightarrow R$
 - (3) B、C要么都录取，要么都不录取； // $Q \leftrightarrow R$
 - (4) 若录取C，则一定录取A。 // $R \rightarrow P$

2.2.1 命题

命题逻辑公式

- 命题逻辑定义了完整的逻辑符号和逻辑公式，常用的包括：
 - 幂等律： $P \wedge P \equiv P, P \vee P \equiv P$
 - 矛盾律： $P \wedge \neg P \equiv F$
 - 排中律： $P \vee \neg P \equiv T$
 - 零律： $P \wedge F \equiv F, P \vee T \equiv T$
 - 同一律： $P \wedge T \equiv P, P \vee F \equiv P$
 - 双重否定律： $\neg \neg P \equiv P$
 - 交换律： $P \wedge Q \equiv Q \wedge P, P \vee Q \equiv Q \vee P$
 - 结合律： $(P \wedge Q) \wedge R \equiv P \wedge (Q \wedge R)$
 $(P \vee Q) \vee R \equiv P \vee (Q \vee R)$

2.2.1 命题逻辑局限性

- 命题逻辑用符号表示命题，通过逻辑符号的连接得到复合命题，从而实现知识表示。
- 命题逻辑对命题内部的结构，对不同命题的共同特征缺少描述手段。

- 如：小张是一个父亲，小李也是一个父亲。
 - 我们用P和Q表示两个命题，则整个命题表示为 $P \wedge Q$
 - 虽然两个命题非常类似，但在符号中无法体现
- 因此，在命题逻辑基础上，发展出了谓词逻辑。

2.2.2 谓词

谓词逻辑的概念

- 仔细观察一个命题，会发现最简单的命题至少由一个**主语**和一个**谓语组成**。
 - 小张是一个父亲
 - 煤是白色的
 - 香蕉的味道是甜的
- **主语**表示了独立存在的某个事物、实体或者概念
- **谓语**则刻画了主语的性质、状态、关系等属性。

2.2.2 谓词

谓词逻辑的概念

- 命题中，主语往往是具体的，特定的，但谓词具有通用性，如：
 - 小张是一个父亲 小李是一个父亲
 - 煤是白色的 棉花是白色的
 - 香蕉的味道是甜的 苹果的味道是甜的
- 因此，将命题中的“谓词”抽象出来，作为知识的核心，而将主语作为谓词支配的部分，就可以将知识形式化。这就是谓词逻辑。

2.2.2 谓词

谓词的形式

- 用谓词来描述简单命题的基本形式，如：

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

- 其中， P 是一个谓词， x_1, x_2, \dots, x_n 是谓词操作的个体。
- 谓词操作的个体数目，称为谓词的元数。如：

$P(x_1)$ 是一元谓词

$P(x_1, x_2)$ 是二元谓词

- 谓词的定义、含义，一般由使用者自行规定，一般由具有相应意义的英文单词表示。

2.2.2 谓词

- 谓词的一般形式： $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$
- 个体 x_1, x_2, \dots, x_n ：某个独立存在的事物或者某个抽象的概念；
- 谓词名 P ：刻画个体的性质、状态或个体间的关系。

(1) 个体是常量：一个或者一组指定的个体。

- “老张是一位教师”：一元谓词 $Teacher(Zhang)$
- “ $5 > 3$ ”：二元谓词 $Greater(5, 3)$
- “Smith作为一个工程师为IBM工作”：
三元谓词 $Works(Smith, IBM, engineer)$

2.2.2 谓词

(2) 个体是变元（变量）：没有指定的一个或者一组个体。

“ $x < 5$ ” : $Less(x, 5)$

(3) 个体是函数：一个个体到另一个个体的映射。

■ “小李的父亲是教师” : $Teacher(father(Li))$

(4) 个体是谓词

■ “Smith作为一个工程师为IBM工作” :
二阶谓词 $Works(engineer(Smith), IBM)$

2.2.2 谓词

例2.2 用谓词表示知识

- 设计谓词，表示如下命题

– 小张是一个父亲

小李是一个父亲

– 煤是白色的

棉花是白色的

– 香蕉的味道是甜的

苹果的味道是甜的

2.2.2 谓词

例2.2 用谓词表示知识

- 设计谓词，表示如下命题

– 小张是一个父亲

小李是一个父亲

– 煤是白色的

棉花是白色的

– 香蕉的味道是甜的

苹果的味道是甜的

- 一种合理的设计方式如下：

– is_a(小张, 父亲), is_a(小李, 父亲)

– color(煤, 白色), color(棉花, 白色)

– taste(香蕉, 甜), taste(苹果, 甜)

2.2.2 谓词

例2.2 用谓词表示知识

- 设计谓词，表示如下命题

— 小张是一个父亲

小李是一个父亲

— 煤是白色的

棉花是白色的

— 香蕉的味道是甜的

苹果的味道是甜的

- 也可以将谓词设计的更具体，设计成一元谓词

— father(小张) , father(小李)

— white(煤) , white(棉花)

— sweet(香蕉) , sweet(苹果)

2.2.3 谓词公式

1. 连接词（连词）

(1) \neg : “机器人不在2号房间” : $\neg \text{Inroom}(\text{robot}, r2)$
“李明打篮球或踢足球” :
 $\text{Plays}(\text{Liming}, \text{basketball}) \vee \text{Plays}(\text{Liming}, \text{football})$

(2) \vee : “析取”（disjunction）——或。

(3) \wedge : “合取”（conjunction）——与。

“我喜欢音乐和绘画” :
 $\text{Like}(I, \text{music}) \wedge \text{Like}(I, \text{painting})$

2.2.3 谓词公式

1. 连接词（连词）

(4) \rightarrow : “蕴含” (implication) 或 “条件”

“如果刘华跑得最快，那么他取得冠军。”：

$RUNS(Liuhua, faster) \rightarrow WINS(Liuhua, champion)$

(5) \leftrightarrow : “等价” (equivalence) 或 “双条件”
(bicondition)。

$P \leftrightarrow Q$: “ P 当且仅当 Q ”。

2.2.3 谓词公式

■ 例 2.2.3 用谓词及连接词组成语句

- 设计谓词，表示如下命题：

- 小李不在足球场

- 李明会打篮球和踢足球

- 我想吃鸡蛋或者蛋糕

- 小张的父亲是教师

2.2.3 谓词公式

■ 例 2.2.3 带有蕴涵的谓词语句

- 蕴含 \rightarrow 是一种特殊的逻辑运算, $P \rightarrow Q$ 表示了如果P, 那么Q
- 我们看几个带有蕴含的谓词语句

– 如果李明跑得最快, 那么他会夺得冠军。

$\text{run}(\text{李明}, \text{最快}) \rightarrow \text{win}(\text{李明}, \text{冠军})$

2.2.3 谓词公式

■ 例 2.2.3 带有蕴涵的谓词语句

- 蕴含 \rightarrow 是一种特殊的逻辑运算, $P \rightarrow Q$ 表示了如果P, 那么Q
- 我们看几个带有蕴含的谓词语句

– 如果李明跑得最快, 那么他会夺得冠军。

$\text{run}(\text{李明}, \text{最快}) \rightarrow \text{win}(\text{李明}, \text{冠军})$

– 如果王亮做好整个传感器, 但传感器仍然无法使用, 那么他得加班修理, 或者明天交给他的师傅。

2.2.3 谓词公式

1. 连接词（连词）

谓词逻辑真值表

P	Q	$\neg P$	$P \vee Q$	$P \wedge Q$	$P \rightarrow Q$	$P \leftrightarrow Q$
T	T	F	T	T	T	T
T	F	F	T	F	F	F
F	T	T	T	F	T	F
F	F	T	F	F	T	T

2.2.3 谓词公式

谓词的变量与量词

- 至此，我们可以用谓词语句来表达一些固定的知识。
- 但这些知识中的“实体”都是特指的，如果我们想表达“所有人都喜欢吃苹果”，如何实现？
- 这就是谓词中的“变量”。既然所有人不是特指，则可以用一个大写英文字母来表示，得到：

lovetoeat(X, apple)

2.2.3 谓词公式

2. 量词 (quantifier)

(1) 全称量词 (universal quantifier) ($\forall x$) : “对个体域中的所有 (或任一个) 个体 x ”。

“所有的机器人都是灰色的”：

$$(\forall x)[ROBOT(x) \rightarrow COLOR(x, GRAY)]$$

(2) 存在量词 (existential quantifier) ($\exists x$) : “在个体域中存在个体 x ”。

“1号房间有个物体”：

$$(\exists x) INROOM(x, r1)$$

2.2.3 谓词公式

全称量词和存在量词出现的次序将影响命题的意思。

例如：

- $(\forall x)(\exists y)(Employee(x) \rightarrow Manager(y, x)) :$

“每个雇员都有一个经理。”

- $(\exists y)(\forall x)(Employee(x) \rightarrow Manager(y, x)):$

“有一个人是所有雇员的经理。”

- 将量词与谓词搭配，就可以得到：

– 所有人都喜欢吃苹果 : $(\forall x) \text{lovetoeat}(x, \text{apple})$

– 有些人喜欢吃苹果 : $(\exists x) \text{lovetoeat}(x, \text{apple})$

2.2.3 谓词公式

全称量词和存在量词举例：

- $(\forall x)(\exists y) F(x, y)$ 表示对于个体域中的任何个体 x 都存在个体 y ， x 与 y 是朋友。
- $(\exists x)(\forall y) F(x, y)$ 表示在个体域中存在个体 x ，与个体域中的任何个体 y 都是朋友。
- $(\exists x)(\exists y) F(x, y)$ 表示在个体域中存在个体 x 与个体 y ， x 与 y 是朋友。
- $(\forall x)(\forall y) F(x, y)$ 表示对于个体域中的任何两个个体 x 和 y ， x 与 y 都是朋友。

2.2.3 谓词公式

量词的转换公式

- $\neg \exists X p(X) \equiv \forall X \neg p(X)$
 - 不存在X使p(X)成立，等价于对任意X，都使 $\neg p(X)$ 成立
- $\neg \forall X p(X) \equiv \exists X \neg p(X)$
 - 不是所有的X都使p(X)成立，等价于至少存在一个X，使 $\neg p(X)$ 成立
- $\forall X (p(X) \wedge q(X)) \equiv \forall X p(X) \wedge \forall Y q(Y)$
- $\exists X (p(X) \vee q(X)) \equiv \exists X p(X) \vee \exists Y q(Y)$
 - 这两条留给大家分析含义

2.2.3 谓词公式

3. 量词的辖域

- 量词的辖域：位于量词后面的单个谓词或者用括弧括起来的谓词公式。
- 约束变元与自由变元：辖域内与量词中同名的变元称为约束变元，不同名的变元称为自由变元。

■ 例如：

$$(\exists x)(P(x, y) \rightarrow Q(x, y)) \vee R(x, y)$$

- $(P(x, y) \rightarrow Q(x, y))$ ： $(\exists x)$ 的辖域，辖域内的变元 x 是受 $(\exists x)$ 约束的变元， $R(x, y)$ 中的 x 是自由变元。
- 公式中的所有 y 都是自由变元。

例 . 符号化下列命题:

(1) 凡人都呼吸。

令 $M(x)$: x 是人。 $F(x)$: x 呼吸。

符号化为 $\forall x(M(x) \rightarrow F(x))$

(2) 有的人用左手写字。

令 $M(x)$: x 是人。 $G(x)$: x 用左手写字。

符号化为 $\exists x(M(x) \wedge G(x))$

若写成 $\exists x(M(x) \rightarrow G(x))$, 则表达“宇宙间存在个体, 若这个个体是人, 则他用左手写字”。

2.2.3 谓词

这是个常用概念，原子语句中允许出现嵌套，但没有逻辑运算符号。下面是一些原子语句的例子。

- weather(today , rain)
- likes(tom, kate)
- friends(father_of(david) , father_of(tom))

4. 谓词公式

定义2.2

- (1) 单个谓词是谓词公式，称为原子谓词公式。
- (2) 若A是谓词公式，则 $\neg A$ 也是谓词公式。
- (3) 若A，B都是谓词公式，则 $A \wedge B$ ， $A \vee B$ ， $A \rightarrow B$ ，
 $A \leftrightarrow B$ 也都是谓词公式。
- (4) 若A是谓词公式，则 $(\forall x) A$ ， $(\exists x) A$ 也是谓词公式。
- (5) 有限步应用 (1) — (4) 生成的公式也是谓词公式。

连接词的优先级别从高到低排列：

\neg ， \wedge ， \vee ， \rightarrow ， \leftrightarrow


■ 例 2.3.3 带量词的谓词语句

- 如果星期一不下雨，Tom会去登山。
- 所有篮球运动员都很高。
- 许多人喜欢三文鱼。
- 没有人喜欢纳税。

2.2.4 谓词公式的性质

1. 谓词公式的解释

■ 谓词公式在个体域上的解释：个体域中的实体对谓词演算表达式中的每个常量、变量、谓词和函数符号的指派。



<i>Friends (george, x)</i>	
<i>Friends (george, susie)</i>	<i>T</i>
<i>Friends (george, kate)</i>	<i>F</i>

■ 对于每一个解释，谓词公式都可求出一个真值（*T*或*F*）。

2.2.4 谓词公式的性质

2. 谓词公式的永真性、可满足性、不可满足性

■ 定义2.3 如果谓词公式 P 对个体域 D 上的任何一个解释都取得真值 T ，则称 P 在 D 上是永真的；如果 P 在每个非空个体域上均永真，则称 P 永真。

■ 定义2.4 如果谓词公式 P 对个体域 D 上的任何一个解释都取得真值 F ，则称 P 在 D 上是永假的；如果 P 在每个非空个体域上均永假，则称 P 永假。

■ 定义2.5 对于谓词公式 P ，如果至少存在一个解释使得 P 在此解释下的真值为 T ，则称 P 是可满足的，否则，则称 P 是不可满足的。

2.2.4 谓词公式的性质

3. 谓词公式的等价性

- **定义2.6** 设 P 与 Q 是两个谓词公式， D 是它们共同的个体域，若对 D 上的任何一个解释， P 与 Q 都有相同的真值，则称公式 P 和 Q 在 D 上是等价的。如果 D 是任意个体域，则称 P 和 Q 是等价的，记为 $P \Leftrightarrow Q$ 。
- (1) 德.摩根律(De. Morgen)
- (2) 连接词化规律（蕴含、等价等值式）
- (3) 量词转换律

2.2.4 谓词公式的性质

4. 谓词公式的永真蕴含

■ 定义2.7 对于谓词公式 P 与 Q ，如果 $P \rightarrow Q$ 永真，则称公式 P 永真蕴含 Q ，且称 Q 为 P 的逻辑结论，称 P 为 Q 的前提，记为 $P \Rightarrow Q$ 。

■ (3) 假言推理

■ (4) 拒取式推理

■ (5) 假言三段论

2.2.4 谓词公式的性质

■ 谓词逻辑的其他推理规则

- ① ***P*规则**：在推理的任何步骤上都可引入前提。
- ② ***T*规则**：在推理过程中，如果前面步骤中有一个或多个公式永真蕴含公式***S***，则可把***S***引入推理过程中。
- ③ ***CP*规则**：如果能从任意引入的命题***R***和前提集合中推出***S***来，则可从前提集合推出 **$R \rightarrow S$** 来。

2.2.4 谓词公式的性质

直接推理：利用P规则，T规则直接推演得到有效结论的方法

- 所有的人都是会死的， $\forall x(Human(x) \rightarrow Die(x))$
 - 因为诸葛亮是人， $Human(Zhugeliang)$
 - 所以诸葛亮是会死的
- (3) $P, P \rightarrow Q \Rightarrow Q$

- { 1 } $\forall x(Human(x) \rightarrow Die(x))$ P规则
- { 2 } $Human(Zhugeliang)$ P规则
- { 1, 2 } $Die(Zhugeliang)$ T规则

2.2.4 谓词公式的性质

■ 谓词逻辑的其他推理规则：

④ 反证法： $P \Rightarrow Q$ ，当且仅当 $P \wedge \neg Q \Leftrightarrow F$ ，即 Q 为 P 的逻辑结论，当且仅当 $P \wedge \neg Q$ 是不可满足的。

■ 定理： Q 为 P_1, P_2, \dots, P_n 的逻辑结论，当且仅当 $(P_1 \wedge P_2 \wedge \dots \wedge P_n) \wedge \neg Q$ 是不可满足的。

例1 求证 $P \rightarrow Q$, $Q \rightarrow R$, $P \Rightarrow R$

证明:

序号	前提或结论	注释列
(1)	P	P
(2)	$P \rightarrow Q$	P
(3)	Q	$T(1)(2)I$
(4)	$Q \rightarrow R$	P
(5)	R	$T(3)(4)I$

2.2.5 一阶谓词逻辑

一阶谓词逻辑

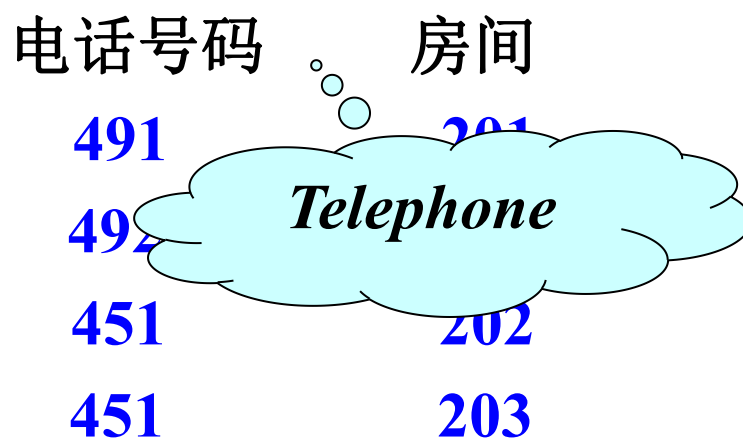
- 至此，我们介绍了有关谓词逻辑的基本知识。
- 在谓词逻辑中，如果全称量词和存在量词仅针对谓词支配的实体，而不针对谓词本身，称为一阶谓词。反之则是高阶谓词。如：
 - $(\forall \text{Likes}) \text{ Likes}(\text{bill}, \text{cat})$
 - 这里的量词支配的是谓词，因此不是一阶谓词。

2.2.5 一阶谓词逻辑知识表示方法

■ 一阶谓词逻辑设计制定过程

- 将一组命题知识表示为一阶谓词逻辑的过程可以描述为：
 - 正确理解命题。分析原子命题、以及原子命题之间的关系。
 - 为每个原子命题定义个体、谓词；
 - 使用恰当的量词。应注意全称量词后跟条件式，存在量词后跟合取式。
 - 使用恰当的连接符。用连接符连接谓词句子，表示给定的命题。

■ 例如：用一阶谓词逻辑表示下列关系数据库。



2.2.5 一阶谓词逻辑知识表示方法

- 用一阶谓词表示:

Occupant (*Zhang* , 201)

Occupant (*Li*, 201)

Occupant (*Wang*, 202)

Occupant (*Zhao*, 203)

Telephone (491, 201)

Telephone (492, 201)

Telephone (451, 202)

Telephone (451, 203)

例2 符号化下列命题

(1) 如果小张与小王都不去，则小李去。

(2) 如果小张与小王不都去，则小李去。

解：令 P ：小张去。 Q ：小王去。 R ：小李去。

(1)命题符号化为： $(\neg P \wedge \neg Q) \rightarrow R$

(2)命题符号化为： $\neg(P \wedge Q) \rightarrow R$

或 $(\neg P \vee \neg Q) \rightarrow R$

例4 符号化下面命题：

若天不下雨，我就上街；否则在家。

解：令 P ：天下雨。 Q ：我上街。 R ：我在家。

该命题可符号化为：

$$(\neg P \rightarrow Q) \wedge (P \rightarrow R)$$

2.2.6 一阶谓词逻辑表示法的特点

■ 优点:

- ① 自然性
- ② 精确性
- ③ 严密性
- ④ 容易实现

■ 局限性:

- ① 不能表示不确定的知识
- ② 组合爆炸
- ③ 效率低

□ 应用:

- (1) 自动问答系统 (Green等人研制的QA3系统)
- (2) 机器人行动规划系统 (Fikes等人研制的STRIPS系统)
- (3) 机器博弈系统 (Filman等人研制的FOL系统)
- (4) 问题求解系统 (Kowalski等设计的PS系统)

第2章 知识表示

■ 2.1 知识与知识表示的概念

■ 2.2 一阶谓词逻辑表示法

✓ 2.3 产生式表示法

■ 2.4 框架表示法

2.3 产生式表示法

- 2.3.1 产生式
- 2.3.2 产生式系统
- 2.3.3 产生式系统——动物识别系统
- 2.3.4 产生式表示法的特点

2.3.1 产生式

- “产生式”：1943年，美国数学家波斯特（E. Post）首先提出。 **production rule**
- 1972年，纽厄尔和西蒙在研究人类的认知模型中开发了基于规则的产生式系统。
- 产生式通常用于表示事实、规则以及它们的不确定性度量，适合于表示事实性知识和规则性知识。
- 可应用于形式语言学、计算语言学中的句法分析器等

2.3.1 产生式

1. 确定性规则知识的产生式表示

- 基本形式: IF P THEN Q

或者: $P \rightarrow Q$ P 称为前件, Q 称为后件

- 例如:

r_4 : IF 动物会飞 AND 会下蛋 THEN 该动物是鸟

- 这种规则与一阶谓词逻辑中的蕴含式很像, 如用谓词逻辑可以写成:

$\forall X$ 动物(X) \wedge 会飞(X) \wedge 卵生(X) \rightarrow 鸟(X)

- 但蕴含式只能表示推理知识, 无法表示类似于“如果室内温度过高, 则将空调打开”这种规则。而产生式就可以将这个规则写成:

IF 室内温度 >28 度 THEN 打开空调

2.3.1 产生式

■ 产生式与谓词逻辑中的蕴含式的区别：

- (1) 除逻辑蕴含外，产生式还包括各种操作、规则、变换、算子、函数等。例如，“如果炉温超过上限，则立即关闭风门”是一个产生式，但不是蕴含式。
- (2) 蕴含式只能表示精确知识，而产生式不仅可以表示精确的知识，还可以表示不精确知识。蕴含式的匹配总要求是精确的。产生式匹配可以是精确的，也可以是不精确的，只要按某种算法求出的相似度落在预先指定的范围内就认为是可匹配的。

2.3.1 产生式

不确定性规则知识的产生式

- 此外，上述规则都是确定性的，即前件成立，后件一定成立。
- 但并非所有知识都是确定性的，如下面的例子：

IF 微生物的染色斑是革兰氏阴性 and
微生物外形为杆状 and
病人是中间宿主

THEN 微生物为绿脓杆菌 (0.6)

- 这条规则中，后件并非总成立，而是带有0.6的“置信度”，表示前件成立的情况下，后件有60%可能性是成立的。这种知识我们称之为“不确定性知识”。其产生式表示为：

IF P THEN Q (置信度)

2.3.1 产生式

3. 确定性事实性知识的产生式表示

- 三元组表示：（对象，属性，值） 属性型知识
或者：（关系，对象1，对象2） 关系型知识
- 例： 老李年龄是40岁： (*Li*, *age*, 40)
老李和老王是朋友： (*friend*, *Li*, *Wang*)

4. 不确定性事实性知识的产生式表示

- 四元组表示：（对象，属性，值，置信度）
或者：（关系，对象1，对象2，置信度）
- 例： 老李年龄很可能是40岁： (*Li*, *age*, 40, 0.8)
老李和老王不大可能是朋友： (*friend*, *Li*, *Wang*, 0.1)

2.3.1 产生式

例2.3.1 事实性知识的产生式例子

事实性知识的产生式

- 我们分析一下刚才的例子：
 - “篮球是圆的”是属性知识，表示为（篮球，形状，圆形）
 - “北京是中国的首都”是关系知识，表示为（中国，北京，首都）
 - “明天很可能会下雨”是不确定的属性知识，表示为（明天，天气，下雨，0.8）
 - “ $\pi=3.14159$ ”是属性知识，表示为（ π ，数值，3.14159）

2.3.1 产生式

产生式的特点

- 至此，我们介绍了产生式的基本形式，我们总结一下特点：
 - （1）产生式以规则形式描述了事物之间的对应关系，这种对应关系包括了因果、蕴含，也包括了动作、方法，因此表达的知识类型和范畴都超过了一阶谓词逻辑。
 - （2）产生式可以描述不确定性知识，如不确定规则、不确定性的事实等，这也是对一阶谓词逻辑的扩展。
- 因此，一阶谓词逻辑可以看作产生式的一种特例。

2.3.1 产生式

■ 产生式的形式描述及语义——巴科斯范式BNF (backus normal form)

$\langle \text{产生式} \rangle ::= \langle \text{前提} \rangle \rightarrow \langle \text{结论} \rangle$

$\langle \text{前 提} \rangle ::= \langle \text{简单条件} \rangle | \langle \text{复合条件} \rangle$

$\langle \text{结 论} \rangle ::= \langle \text{事实} \rangle | \langle \text{操作} \rangle$

$\langle \text{复合条件} \rangle ::= \langle \text{简单条件} \rangle \text{AND} \langle \text{简单条件} \rangle [\text{AND} \langle \text{简单条件} \rangle \dots]$
 $\quad | \langle \text{简单条件} \rangle \text{OR} \langle \text{简单条件} \rangle [\text{OR} \langle \text{简单条件} \rangle \dots]$

$\langle \text{操 作} \rangle ::= \langle \text{操作名} \rangle [(\langle \text{变元} \rangle, \dots)]$

符号“ $::=$ ”表示“定义为”；符号“ $|$ ”表示“或者是”；符号“ $[]$ ”表示“可缺省”。

2.3.2 产生式系统

1. 规则库

- 规则库：用于描述相应领域内知识的产生式集合。

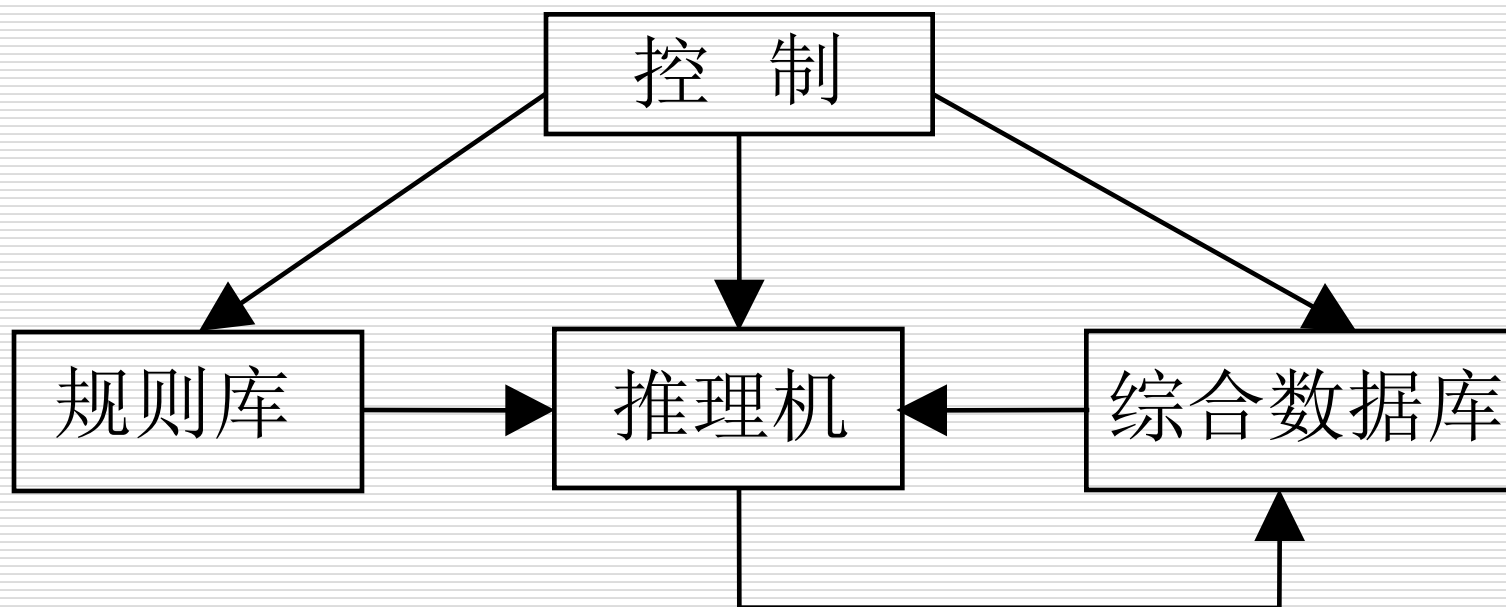
2. 综合数据库

- 综合数据库(事实库、上下文、黑板等)：一个用于存放问题求解过程中各种当前信息的数据结构。

3. 控制系统

- 控制系统（推理机构）：由一组程序组成，负责整个产生式系统的运行，实现对问题的求解。

2.3.2 产生式系统



产生式系统的基本结构

■ 产生式系统推理流程

- 推理机读取事实库和规则库。
- 将事实与规则的前件进行匹配，以产生新的事实。
- 如果新的事实中包含了待证明的断言，则计算结束。
- 控制器负责整个推理过程。

2.3.2 产生式系统

3. 控制系统（续）

控制系统要做以下几项工作：

- （1）从规则库中选择与综合数据库中的已知事实进行匹配。
- （2）匹配成功的规则可能不止一条，进行冲突消解。
- （3）执行某一规则时，如果其右部是一个或多个结论，则把这些结论加入到综合数据库中：如果其右部是一个或多个操作，则执行这些操作。
- （4）对于不确定性知识，在执行每一条规则时还要按一定的算法计算结论的不确定性。
- （5）检查综合数据库中是否包含了最终结论，决定是否停止系统的运行。

2.3.3 产生式系统的例子——动物识别系统

- 例如：动物识别系统——识别虎、金钱豹、斑马、长颈鹿、鸵鸟、企鹅、信天翁等七种动物的产生式系统。



2.3.3 产生式系统的例子——动物识别系统

■ 规则库:

- r_1 : IF 该动物有毛发 THEN 该动物是哺乳动物
- r_2 : IF 该动物有奶 THEN 该动物是哺乳动物
- r_3 : IF 该动物有羽毛 THEN 该动物是鸟
- r_4 : IF 该动物会飞 AND 会下蛋 THEN 该动物是鸟
- r_5 : IF 该动物吃肉 THEN 该动物是食肉动物
- r_6 : IF 该动物有犬齿 AND 有爪 AND 眼盯前方
THEN 该动物是食肉动物
- r_7 : IF 该动物是哺乳动物 AND 有蹄
THEN 该动物是有蹄类动物
- r_8 : IF 该动物是哺乳动物 AND 是反刍动物
THEN 该动物是有蹄类动物

2.3.3 产生式系统的例子——动物识别系统

r_9 : IF 该动物是哺乳动物 AND 是食肉动物 AND 是黄褐色
AND 身上有暗斑点 THEN 该动物是金钱豹

r_{10} : IF 该动物是哺乳动物 AND 是食肉动物 AND 是黄褐色
AND 身上有黑色条纹 THEN 该动物是虎

r_{11} : IF 该动物是有蹄类动物 AND 有长脖子 AND 有长腿
AND 身上有暗斑点 THEN 该动物是长颈鹿

r_{12} : IF 该动物有蹄类动物 AND 身上有黑色条纹
THEN 该动物是斑马

r_{13} : IF 该动物是鸟 AND 有长脖子 AND 有长腿 AND 不会飞
AND 有黑白二色 THEN 该动物是鸵鸟

r_{14} : IF 该动物是鸟 AND 会游泳 AND 不会飞
AND 有黑白二色 THEN 该动物是企鹅

r_{15} : IF 该动物是鸟 AND 善飞 THEN 该动物是信天翁

2.3.3 产生式系统的例子——动物识别系统

■ 设已知初始事实存放在综合数据库中：

该动物身上有：暗斑点，长脖子，长腿，奶，蹄

■ 推理机构的工作过程：

(1) 从规则库中取出 r_1 ，检查其前提是否可与综合数据库中的已知事实匹配。匹配失败则 r_1 不能被用于推理。然后取 r_2 进行同样的工作。匹配成功则 r_2 被执行。

■ 综合数据库：

该动物身上有：暗斑点，长脖子，长腿，奶，蹄，哺乳动物

2.3.3 产生式系统的例子——动物识别系统

■ 推理机构的工作过程：

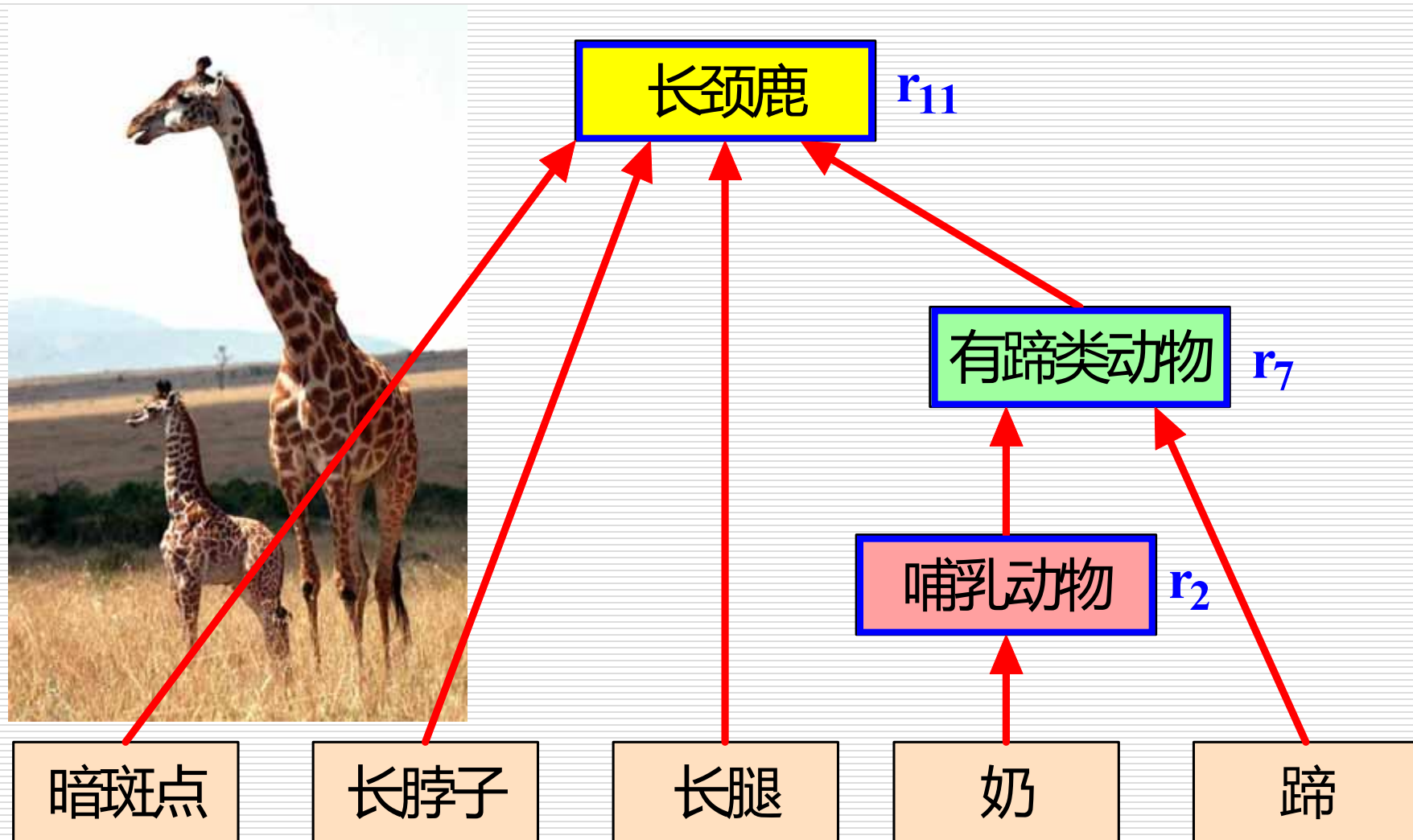
(2) 分别用 r_3 , r_4 , r_5 , r_6 综合数据库中的已知事实进行匹配, 均不成功。 r_7 匹配成功, 执行 r_7 。

■ 综合数据库:

该动物身上有：暗斑点，长脖子，长腿，奶，蹄，哺乳动物，有蹄类动物

(3) r_{11} 匹配成功, 并推出“该动物是长颈鹿”。

2.3.3 产生式系统的例子——动物识别系统



2.3.4 产生式表示法的特点

1. 产生式表示法的优点

- (1) 自然性
- (2) 模块性
- (3) 有效性
- (4) 清晰性

2. 产生式表示法的缺点

- (1) 效率不高
- (2) 不能表达结构性知识

3. 适合产生式表示的知识

- (1) 领域知识间关系不密切，不存在结构关系。
- (2) 经验性及不确定性的知识，且相关领域中对这些知识没有严格、统一的理论。
- (3) 领域问题的求解过程可被表示为一系列相对独立的操作，且每个操作可被表示为一条或多条产生式规则。

第2章 知识表示

■ 2.1 知识与知识表示的概念

■ 2.2 一阶谓词逻辑表示法

■ 2.3 产生式表示法

✓ 2.4 框架表示法

2.4 框架表示法

- 1975年，美国明斯基提出了框架理论：人们对现实世界中各种事物的认识都是以一种类似于框架的结构存储在记忆中的。
- 框架表示法：一种结构化的知识表示方法，已在多种系统中得到应用。

2.4.1 框架的一般结构

- **框架（frame）**：一种描述所论对象（一个事物、事件或概念）属性的数据结构。
- 一个框架由若干个被称为“槽”（slot）的结构组成，每一个槽又可根据实际情况划分为若干个“侧面”（faced）。
- 一个槽用于描述所论对象某一方面的属性。
- 一个侧面用于描述相应属性的一个方面。
- 槽和侧面所具有的属性值分别被称为槽值和侧面值。

2.4.1 框架的一般结构

<框架名>

槽名1:	侧面名 ₁₁	侧面值 ₁₁₁ , ... , 侧面值 _{11P1}
	⋮	
	侧面名 _{1m}	侧面值 _{1m1} , ... , 侧面值 _{1mPm}
槽名n:	侧面名 _{n1}	侧面值 _{n11} , ... , 侧面值 _{n1P1}
	⋮	
	侧面名 _{nm}	侧面值 _{nm1} , ... , 侧面值 _{nmPm}
约束:	约束条件 ₁	
	⋮	
	约束条件 _n	

2.4.2 用框架表示知识的例子

■ 例1 教师框架

框架名：〈教师〉

姓名：单位（姓、名）

年龄：单位（岁）

性别：范围（男、女）

缺省：男

职称：范围（教授，副教授，讲师，助教）

缺省：讲师

部门：单位（系，教研室）

住址：〈住址框架〉

工资：〈工资框架〉

开始工作时间：单位（年、月）

截止时间：单位（年、月）

缺省：现在

2.4.2 用框架表示知识的例子

■ 例2 教师框架

当把具体的信息填入槽或侧面后，就得到了相应框架的一个事例框架。

框架名：〈教师-1〉

姓名：夏冰

年龄：36

性别：女

职称：副教授

部门：计算机软件教研室

住址：〈adr-1〉

工资：〈sal-1〉

开始工作时间：1988， 9

截止时间：1996， 7

2.4.2 用框架表示知识的例子

■ 例3 教室框架

框架名：〈教室〉

墙数：

窗数：

门数：

座位数：

前墙：〈墙框架〉

后墙：〈墙框架〉

左墙：〈墙框架〉

右墙：〈墙框架〉

门：〈门框架〉

窗：〈窗框架〉

黑板：〈黑板框架〉

天花板：〈天花板框架〉

讲台：〈讲台框架〉

2.4.2 用框架表示知识的例子

- 例4 将下列一则地震消息用框架表示：“某年某月某日，某地发生6.0级地震，若以膨胀注水孕震模式为标准，则三项地震前兆中的波速比为0.45，水氦含量为0.43，地形改变为0.60。”
- 解：地震消息用框架如下图所示。

框架名：〈地震〉

地 点：某地

日 期：某年某月某日

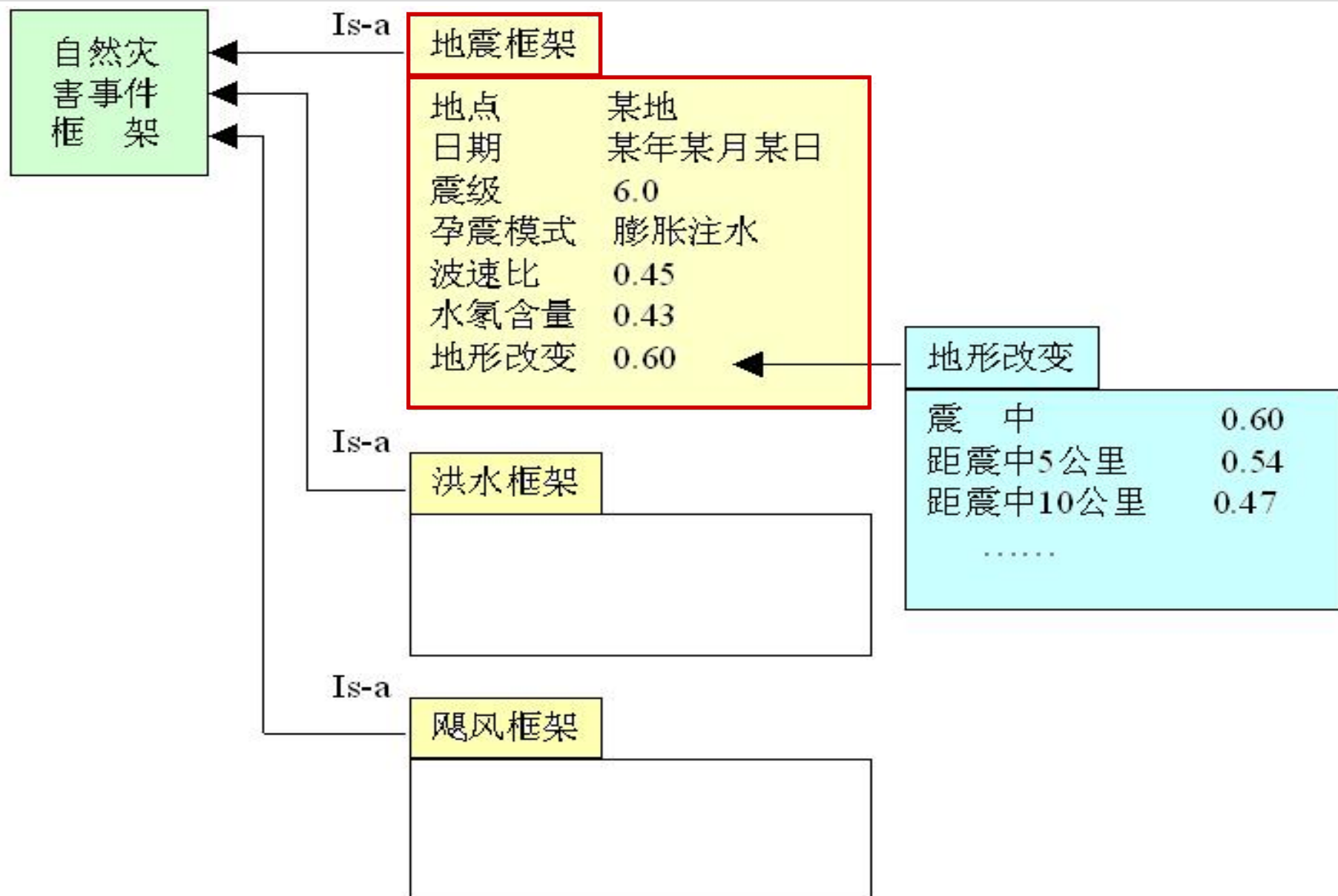
震 级：6.0

波 速 比：0.45

水氦含量：0.43

地形改变：0.60

2.4.2 用框架表示知识的例子



2.4.3 框架表示法的特点

(1) 结构性

便于表达结构性知识，能够将知识的内部结构关系及知识间的联系表示出来。

(2) 继承性

框架网络中，下层框架可以继承上层框架的槽值，也可以进行补充和修改。

(3) 自然性

框架表示法与人在观察事物时的思维活动是一致的。



THE END