



人工智能导论

主讲教师：朱艳菊
信息科学与技术学院
电子信息工程系



知识就是力量

知识可以丰富人的思想，让人变得智慧

人工智能中对知识的理解？

- 2.1 知识与知识表示
- 2.2 状态空间表示法
- 2.3 谓词逻辑表示法
- 2.4 产生式表示法
- 2.5 框架表示法

2.1 知识与知识表示



- 知识是人类进行一切智能活动的基础。

什么是知识？

- 知识是人们对于可重复信息之间联系的认识，是信息经过整理、加工、解释、挑选和改造而形成的。
- 知识是对信息和信息之间联系的认识，以及利用认识解决实际问题的方法和策略。

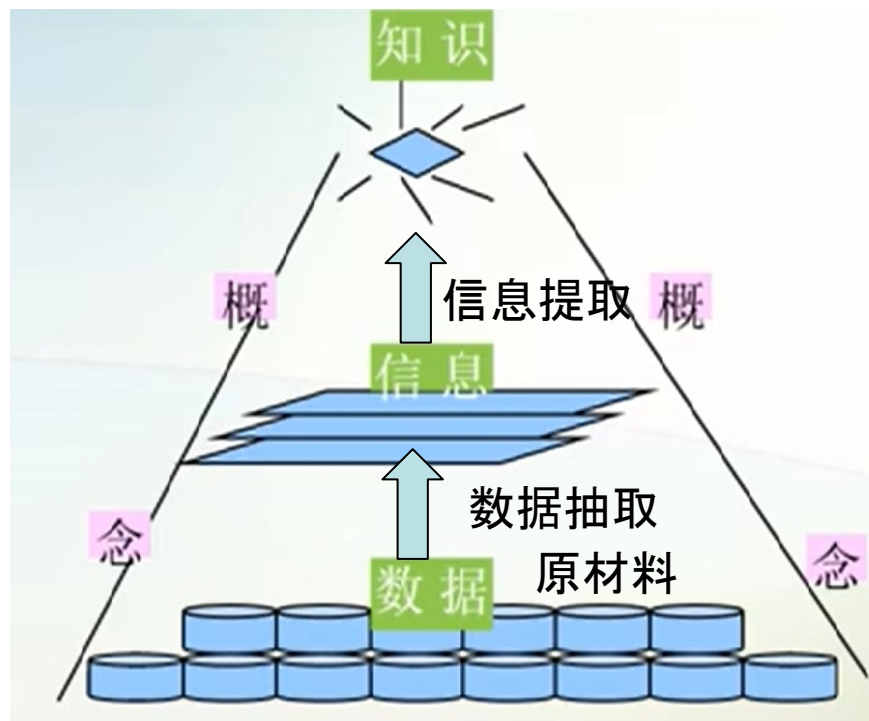
2.1 知识与知识表示



数据——信息——知识

例如：

- 13亿
- 中国人口数已经达到 13 亿
- 中国是世界上人口最多的国家



- “13亿” 是数据
- “中国人口数已经达到 13 亿” 是信息
- “中国是世界上人口最多的国家” 是知识

2.1 知识与知识表示



人工智能系统所关心的知识：

事实知识、规则知识、控制知识、元知识等

➤ 事实知识：有关问题环境的一些事物的知识

以“...是...”形式出现

➤ 规则知识：问题中与事物的行为、动作相关联的因果关系知识

以“如果...那么...”形式出现

2.1 知识与知识表示



人工智能系统所关心的知识：

➤ **控制知识**：问题的求解步骤、技巧性知识

(1) 怎么做一件事

(2) 多个动作同时被激活时，选择哪个动作来执行

➤ **元知识**：有关知识的知识，知识库中的高层知识

使用规则、解释规则、校验规则、解释程序结构等

我们人类拥有的知识如何被计算机系统所接收，并应用于实际问题的求解？

2.1 知识与知识表示



将面向人的知识转化为计算机系统所能接收的形式，即知识表示研究的内容。

知识表示：将知识符号化，输入计算机的过程和方法。

- 给定结构，按一定原则、组织方式表示知识；
- 解释知识含义

理想的知识表示方法：模拟人脑知识存储结构。

- **合理的知识表示方法：**使问题求解变得容易，具有较高求解效率。

2.1 知识与知识表示

人工智能的几种知识表示方法：

- 状态空间法
- 问题归约法
- 谓词逻辑法
- 语义网络法
- 产生式表示法
- 框架表示
- 剧本表示
- 过程表示
- 面向对象法
- 本体方法

2.2 状态空间法

问题的求解

- 归约、推断、决策、规划、常识推理、定理证明和相关过程
- 问题求解技术

问题表示：描述方法不对，则给问题求解带来很大困难；

问题求解：**试探搜索方法**，在某个可能解空间内寻找一个解来求解问题。

状态空间法：

基于解答空间的问题表示和求解方法，以状态和算法为基础表示和求解问题。

2.2 状态空间法

状态空间法三要点：状态、算符、状态空间

➤ 状态

描述不同事物间的差别，引入一组最少变量 q_0, q_1, \dots, q_n 的有序集合，即 $Q=[q_0, q_1, \dots, q_n]^T$ 。式中 q_i ($i=0, 1, \dots, n$) 为集合分量，称为状态变量。

2.2 状态空间法

- 例 八数码问题的状态空间（如何把初始棋局变换为目标棋局呢？）。

2	3	1
5		8
4	6	7

初始状态

1	2	3
8		4
7	6	5

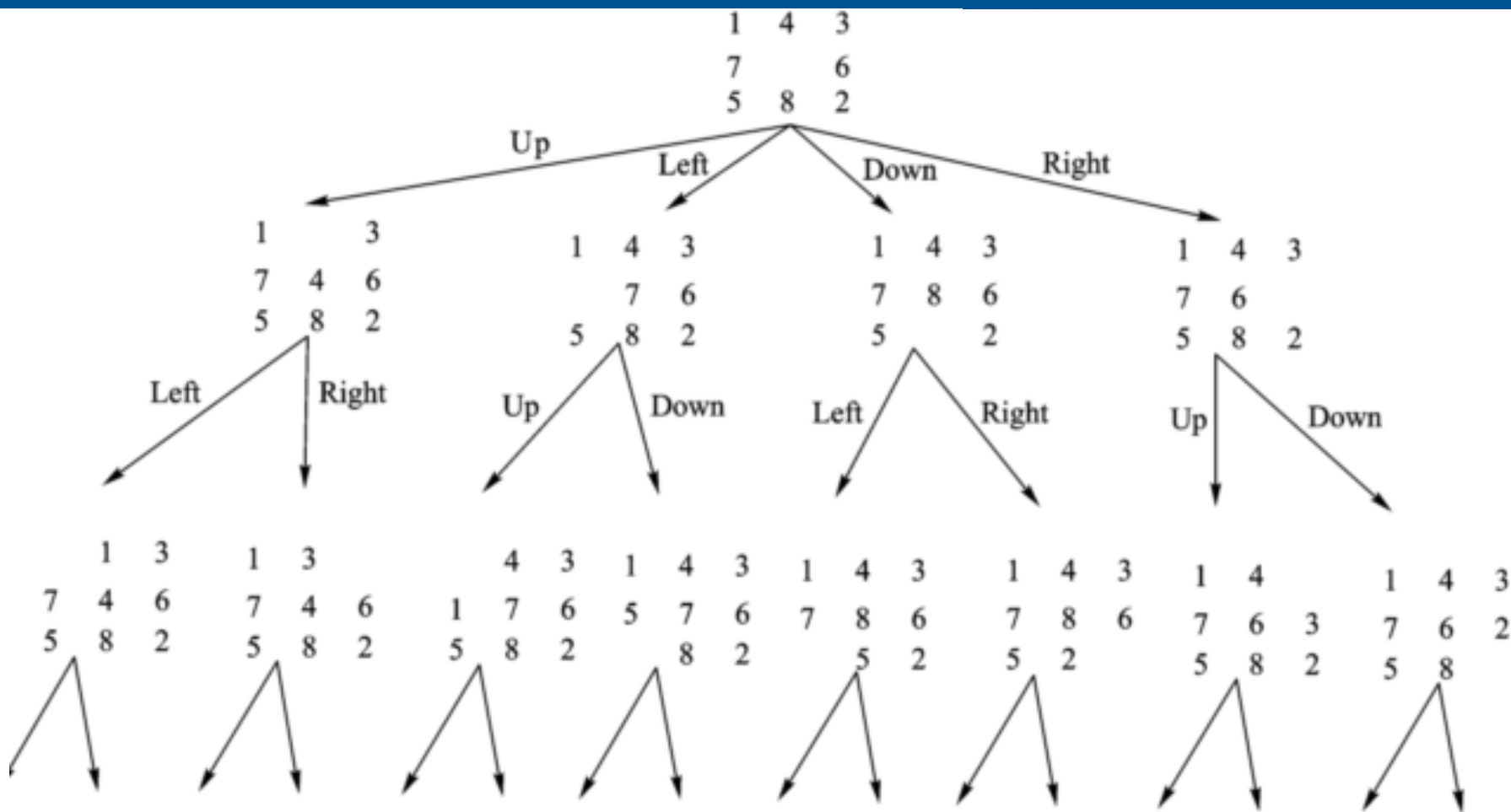
目标状态

状态集 S : 所有摆法

操作算子 :

将空格向上移Up
将空格向左移Left
将空格向下移Down
将空格向右移Right

2.2 状态空间法



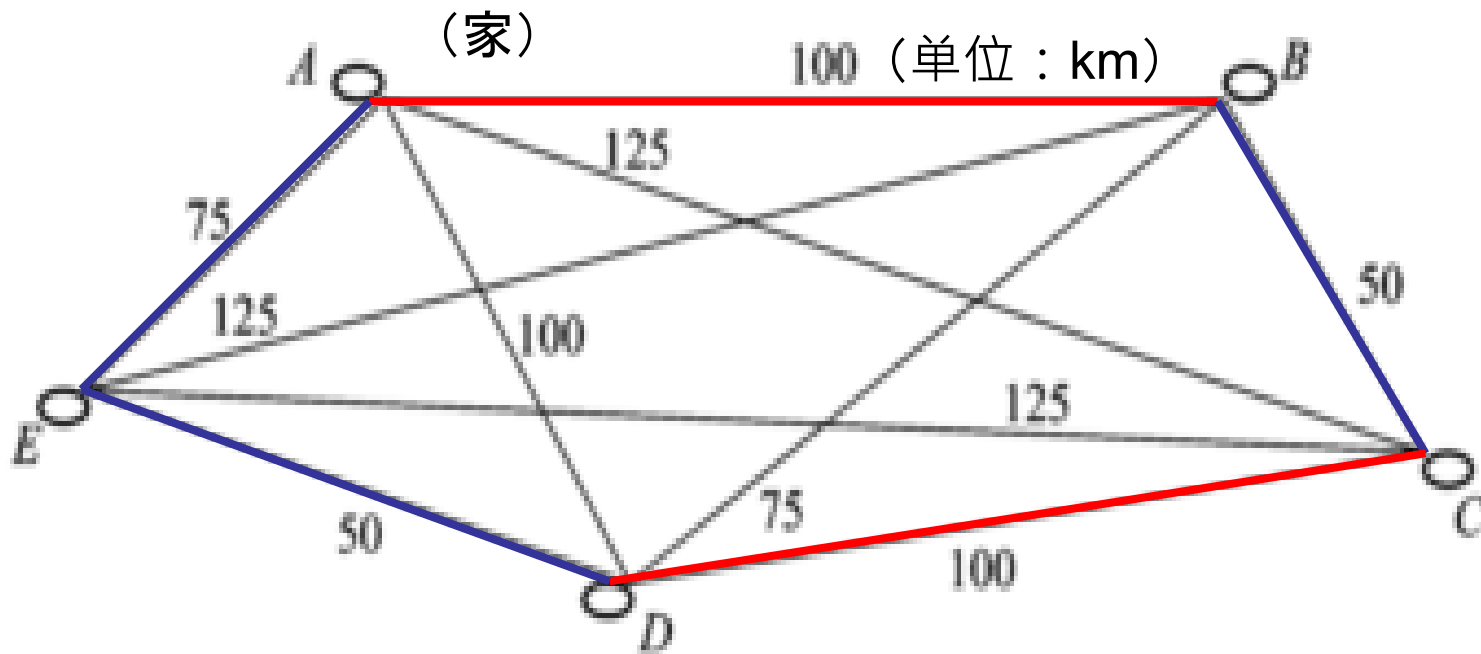
八数码状态空间图 / 由初始状态可达的各状态组成的空间

最优化问题：仅找到到达目标的任一路径是不够的，还必须找到最优路径。

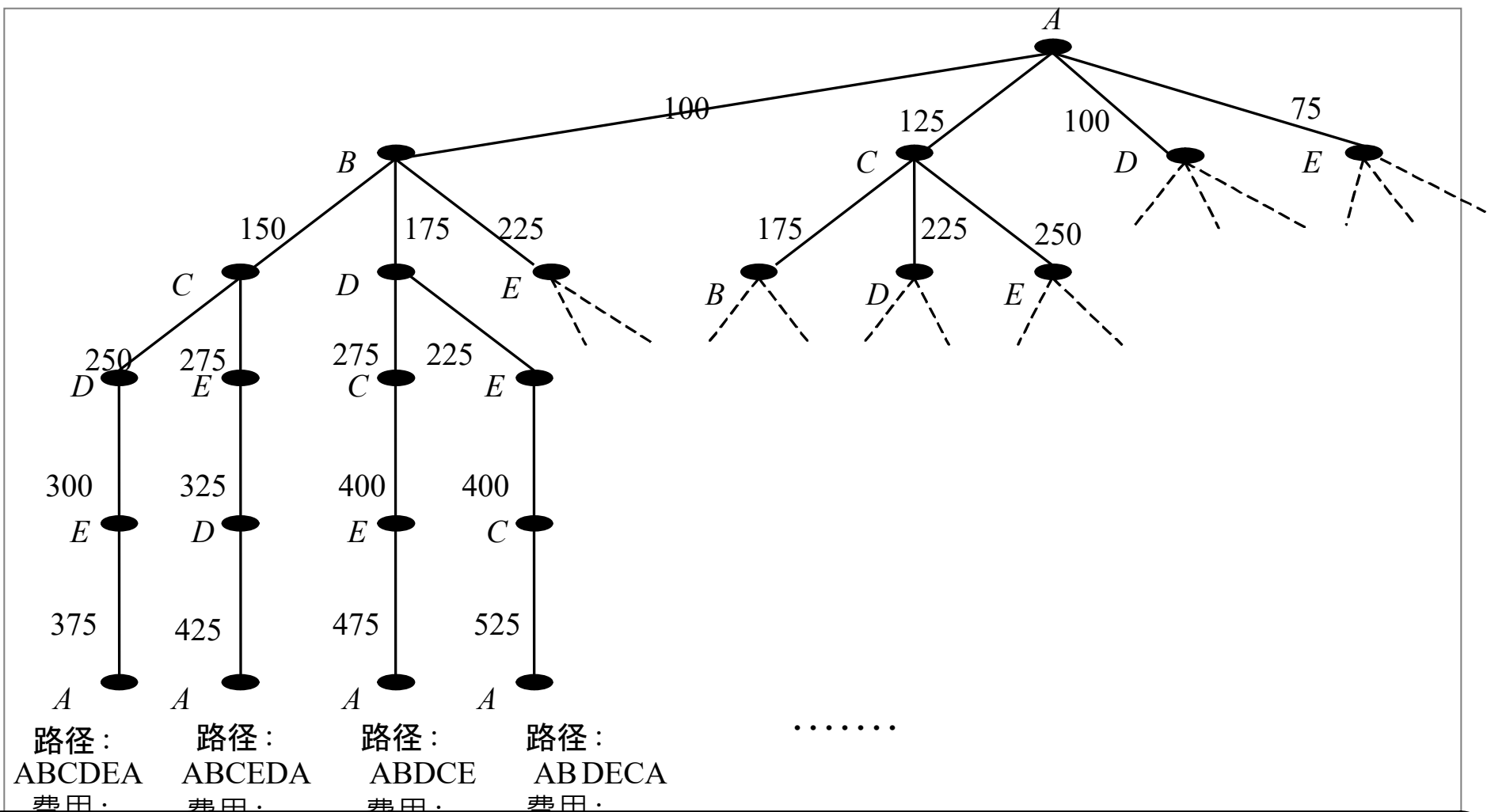
2.2 状态空间法

例旅行商问题（traveling salesman problem, TSP）或邮递员路径问题。

旅行商问题：给定一系列城市 and 每对城市之间的距离，求解访问每一座城市一次并回到起始城市的最短回路。



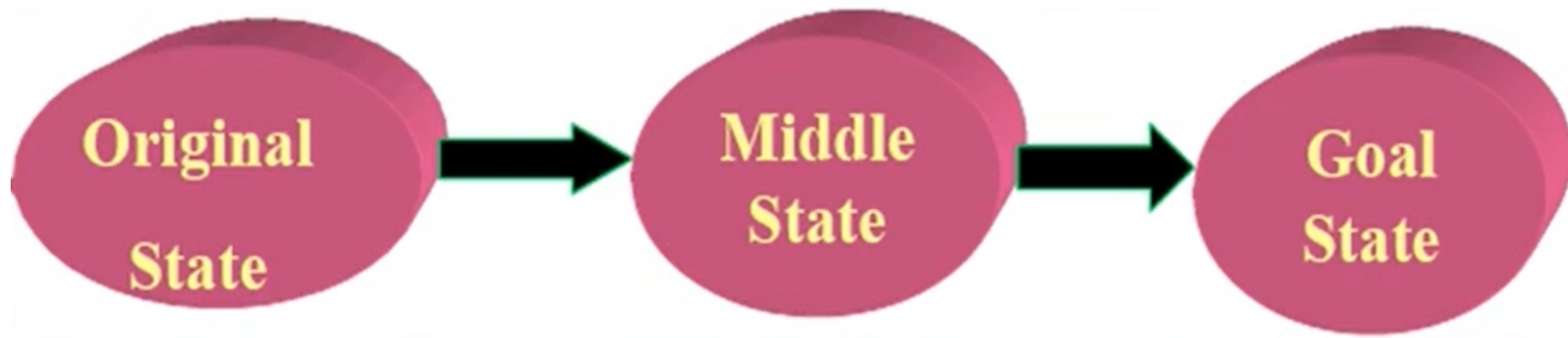
2.2 状态空间法



状态空间法存在问题：需要扩展比较多的结点，容易出现组合爆炸，因此适用于表示比较简单的问题。

2.2 状态空间法

- 状态空间法对问题状态的描述
 - 对一个问题状态描述，必须确定3件事
- 初始状态描述的特性
- 操作符及其对状态描述的作用
- 目标状态描述的特性



把客观世界的各种事实表示为逻辑命题

例如： $3 < 5$

- 命题 (proposition) 是真即假的陈述句。
- 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 。

例如：太阳从西边升起

最基本命题逻辑的知识表达是给一个对象命名或陈述一个事实。

命题逻辑有一定的局限性：所有的人都要学习
对问题进行量化，必须一个个写出已经知道的人都需要学习的独立命题。

谓词逻辑允许表达无法用命题逻辑表达的命题

- 谓词逻辑可作为知识的一种表示方法。
- 谓词逻辑中，表达客观世界事实为由**合适公式** (WFF) 写成的命题。

2.3 谓词逻辑表示法



谓词逻辑基本组成：

➤ **谓词符号、常量符号、变量符号、函数符号、括号和逗号。**

➤ **原子公式有若干谓词符号和项组成。**

常量符号：最简单的项，表示论域内的物体或实体

变量符号：项，不涉及哪一个实体

函数符号：表示论域内的函数

2.3 谓词逻辑表示法

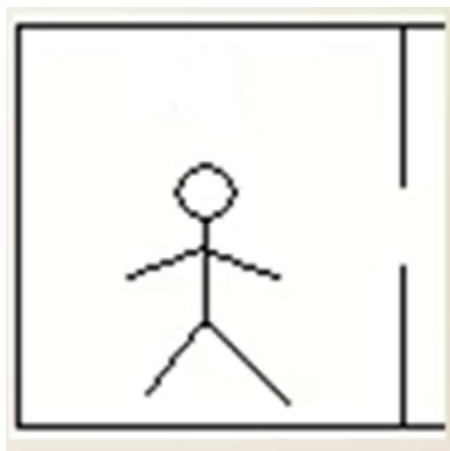
原子公式：谓词演算的基本积木块

例：表示“机器人(ROBOT)在1号房间(R1)内”

原子公式可以定义为：INROOM(ROBOT, R1)

↓
谓词符号

↘ ↙
常量符号



2.3 谓词逻辑表示法

1. 连接词（连词） 用连词把多个原子公式组合起来

“机器人不在2号房间”： $\neg \text{Inroom}(\text{robot}, r2)$

(1) \neg ：“否定”（negation）——“非”。

“李明打篮球或踢足球”：

(2) \vee ： $\text{Plays}(\text{Liming}, \text{basketball}) \vee \text{Plays}(\text{Liming}, \text{football})$
“析取”（disjunction）——“或”。

(3) \wedge ：“合取”（conjunction）——与。

“我喜欢音乐和绘画”：

$\text{Like}(I, \text{music}) \wedge \text{Like}(I, \text{painting})$

1. 连接词（连词）

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

“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. 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”：

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

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。

谓词公式

- 原子谓词公式的一般形式： $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 表示一个n元谓词公式。
 - 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；
 - P 为n元谓词：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。

- “老张是一个教师”：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 $Works(Smith, IBM, engineer)$

2.3 谓词逻辑表示法



(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 $Works(engineer(Smith), IBM)$

2.3 谓词逻辑表示法

运用连词和量词能组合多个原子公式，构成复杂合式公式。

合式公式的递归定义

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

连接词的优先级别从高到低排列：

\square ， \wedge ， \vee ， \rightarrow ， \leftrightarrow

2.3 谓词逻辑表示法



• 练习

例：“对于所有的 x ，如果 x 是整数，则 x 或为正的或为负的。”

$(\forall x) (I(x) \Rightarrow (p(x) \vee N(x)))$,

其中， $I(x)$ 表示 x 是整数， $P(x)$ 表示 x 是正数， $N(x)$ 表示 x 是负数

等价关系

合式公式的性质：

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

等价：无论如何解释，如果两个合适公式真值表都是相同的，则称他们是等价的。

2.3 谓词逻辑表示法

利用真值表可以确定：

- 否定之否定

$\sim(\sim P)$ 等价于 P

$P \vee Q$ 等价于 $\sim P \Rightarrow Q$

- 狄.摩根定律

$\sim(P \vee Q)$ 等价于 $\sim P \wedge \sim Q$

$\sim(P \wedge Q)$ 等价于 $\sim P \vee \sim Q$

- 交换律

$P \wedge Q$ 等价于 $Q \wedge P$

$P \vee Q$ 等价于 $Q \vee P$

$P \wedge (Q \vee R)$ 等价于 $(P \wedge Q) \vee (P \wedge R)$

$P \vee (Q \wedge R)$ 等价于 $(P \vee Q) \wedge (P \vee R)$

- 逆否律

$P \Rightarrow Q$ 等价于 $\sim Q \Rightarrow \sim P$

- 结合律

$(P \wedge Q) \wedge R$ 等价于 $P \wedge (Q \wedge R)$

$(P \vee Q) \vee R$ 等价于 $P \vee (Q \vee R)$

- 其它等价关系

$\sim(\exists x)P(x)$ 等价于 $(\forall x)[\sim P(x)]$

$\sim(\forall x)P(x)$ 等价于 $(\exists x)[\sim P(x)]$

$(\forall x)[P(x) \wedge Q(x)]$ 等价于 $(\forall x)P(x) \wedge (\forall x)Q(x)$

$(\forall x)[P(x) \vee Q(x)]$ 等价于 $(\forall x)P(x) \vee (\forall x)Q(x)$

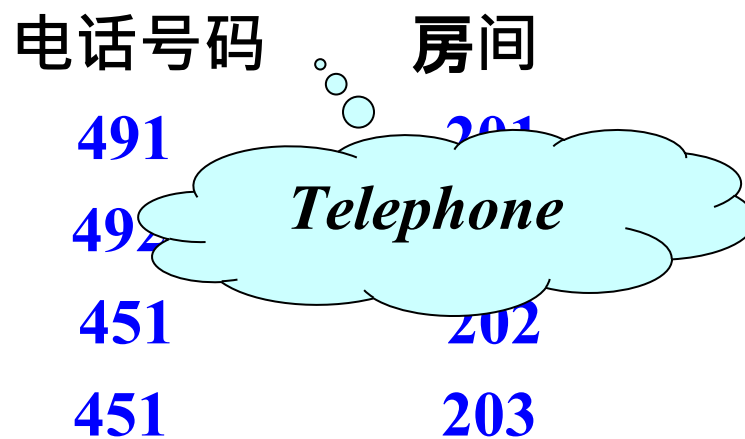
$(\forall x)P(x)$ 等价于 $(\forall y)P(y)$

$(\exists x)P(x)$ 等价于 $(\exists y)P(y)$

2.3 谓词逻辑表示法

- 谓词公式表示知识的步骤：
 - 定义谓词及个体。
 - 变元赋值。
 - 用连接词连接各个谓词，形成谓词公式。

■ 例如：用谓词逻辑表示下列关系数据库。



2.3 谓词逻辑表示法

- 用谓词表示：

Occupant (*Zhang*, 201)

Occupant (*Li*, 201)

Occupant (*Wang*, 202)

Occupant (*Zhao*, 203)

Telephone (491, 201)

Telephone (492, 201)

Telephone (451, 202)

Telephone (451, 203)

2.3 谓词逻辑表示法

- **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）

- 2.1 知识与知识表示的概念
- 2.2 状态空间表示法
- 2.3 谓词逻辑表示法
- ✓ 2.4 产生式表示法
- 2.5 框架表示法

- 2.4.1 产生式
- 2.4.2 产生式系统
- 2.4.3 产生式系统——动物识别系统
- 2.4.4 产生式表示法的特点

- **“产生式”**：1943年，美国数学家波斯特（E. Post）首先提出。
- 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。

2.4.1 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: $P \rightarrow Q$

■ 例如:

r_4 : IF 动物会飞 AND 会下蛋 THEN
该动物是鸟

2. 不确定性规则知识的产生式表示

■ 基本形式: IF P THEN Q (置信度)

或者: $P \rightarrow Q$ (置信度)

例如: IF 发烧 THEN 感冒 (0.6)

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）
或者：（关系，对象1，对象2）
- 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： $(friend, Li, Wang, 0.1)$

- 产生式与谓词逻辑中的蕴含式的区别：

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，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。

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

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

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

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

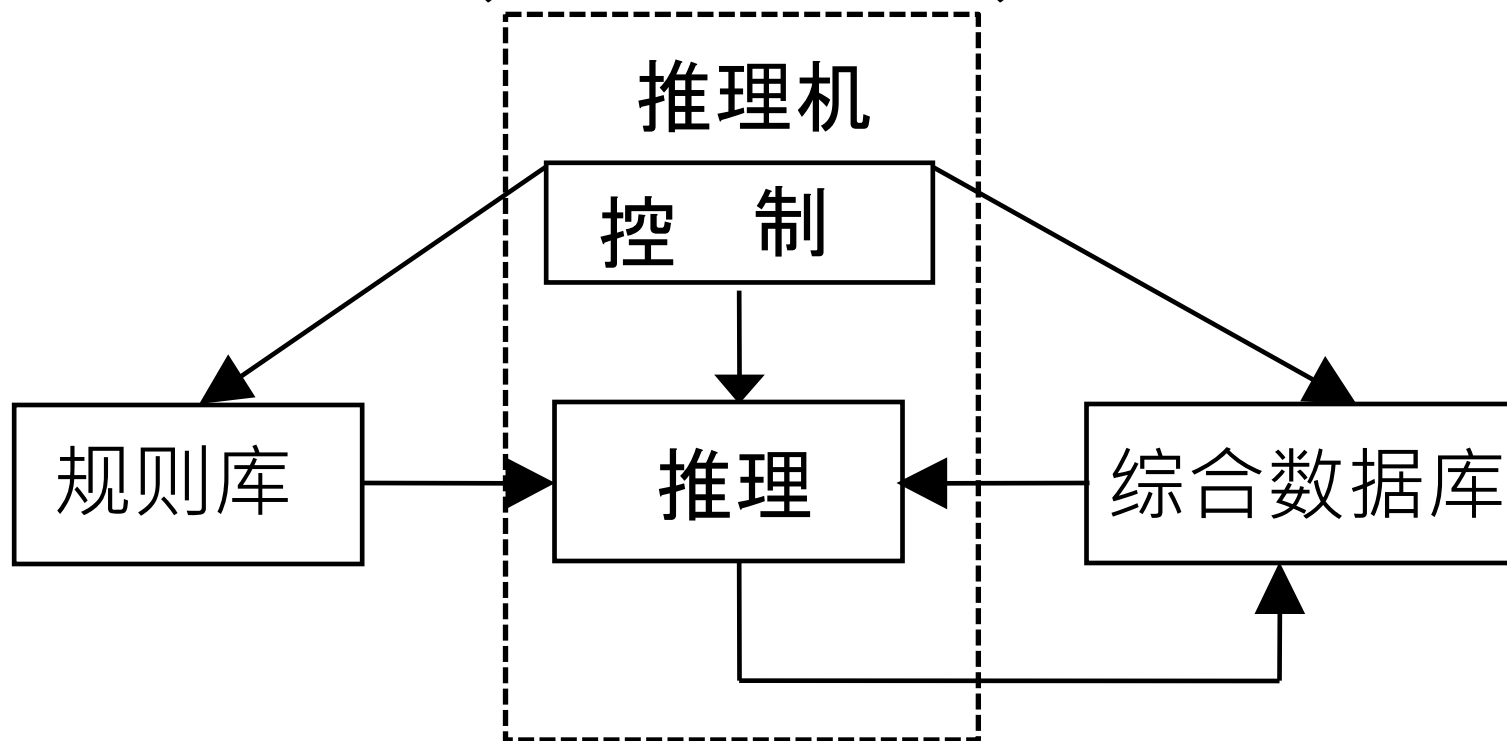
$\langle \text{复合条件} \rangle ::= \langle \text{简单条件} \rangle \text{AND} \langle \text{简单条件} \rangle [\text{AND} \langle \text{简单条件} \rangle \dots$
 $\quad | \langle \text{简单条件} \rangle \text{OR} \langle \text{简单条件} \rangle [\text{OR} \langle \text{简单条件} \rangle \dots$

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

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

2.4.2 产生式系统

产生式系统：把一组产生式放在一起、让他们**互相配合、协同作用**，一个产生式生成的结论可以供另一个产生式作为**已知事实使用，以求的问题的解**，这样的系统称为产生式。



产生式系统的基本结构

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。

3. 控制系统

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。**

2.4.3 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。



2.4.3 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

2.4.3 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

2.4.3 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**

2.4.3 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”。

2.4.3 产生式系统的例子——动物识别系统





1. 产生式表示法的优点

产生式适合于表达具有因果关系的过程性知识，是一种非结构化的知识表示方法。

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

适合人的思维方式

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

- 2.1 知识与知识表示的概念
- 2.2 状态空间表示法
- 2.3 谓词逻辑表示法
- 2.4 产生式表示法
- ✓ 2.5 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。
- 面对一个新事物时，从记忆中找出一个合适的框架，根据实际情况对其进行修改补充，从而形成对当前事物的认识。
- 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。

- 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。

2.5.1 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	

■ 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



■ 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

■ 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〉



- 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，水氡含量为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

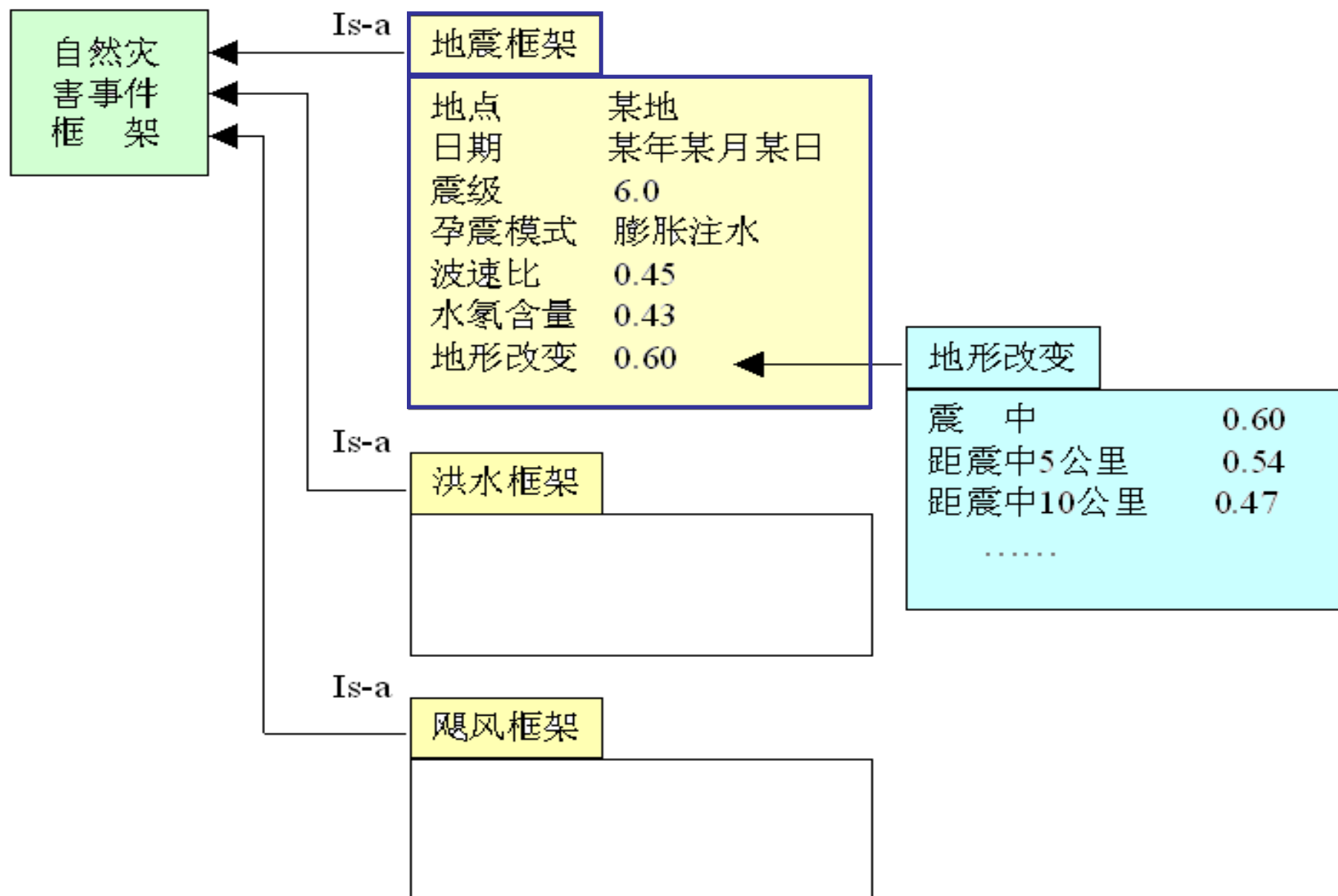
震 级：6.0

波 速 比：0.45

水氡含量：0.43

地形改变：0.60

2.5.2 用框架表示知识的例子





(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。

与产生式表示的区别：产生式只能表达因果关系，框架表示不仅能表示因果关系还能表示复杂数据结构关系。