

## 第 2 章 知识表示

---

**知识就是力量：**

-----培根

# 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
- 2.5 语义网络表示法

# 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

### ■ 2.5 语义网络表示法

## 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中事物之间的关系，不同事物或相同事物间的不同

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 知识的特点

知识状态:

确定性: “真”、“假”

不确定性: 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
- ② 模糊性引起的不确定性
- 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 知识的分类

### 1. 按知识的作用范围

- 常识性知识：通用性知识。
- 领域性知识：专业性的知识。

### 2. 按知识的作用及表现形式

- 事实性知识：有关概念、事实、事物属性及关系等。  
1个字节由8个“位”构成。  
一个扇区有512个“字节”的数据。
- 过程性知识：有关系统状态变化、问题求解过程的操作、演算和行动的知识。  
糖是甜的。
- 控制性知识（深层知识）：利用知识进行问题求解的知识。  
西安是一个古老的城市。  
一年有春、夏、秋、冬四个季节。



## 2.1.3 知识的分类

### 2. 按知识的作用及表示

■ 例如：

从北京到上海是乘飞机还是火车的问题表示如下：

- 事实性知识：北京、上海、飞机、时间、费用。
- 过程性知识：乘飞机、坐火车。
- 控制性知识：乘坐飞机较快、较贵；坐火车较慢、较便宜。

## 2.1.3 知识的分类

### 3. 按知识的结构及表现形式

- 逻辑性知识：反映人类逻辑思维过程的知识。
- 形象性知识：通过事物的形象建立起来的知识。

### 4. 按知识的确定性

例：什么是树？

- 确定性知识：可指出其真值为“真”或“假”的知识，是精确性的知识。
- 不确定性知识：具有不精确、不完全及模糊性等特性的知识。

## 2.1.4 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。

# 第2章 知识表示

■ 2.1 知识与知识表示的概念

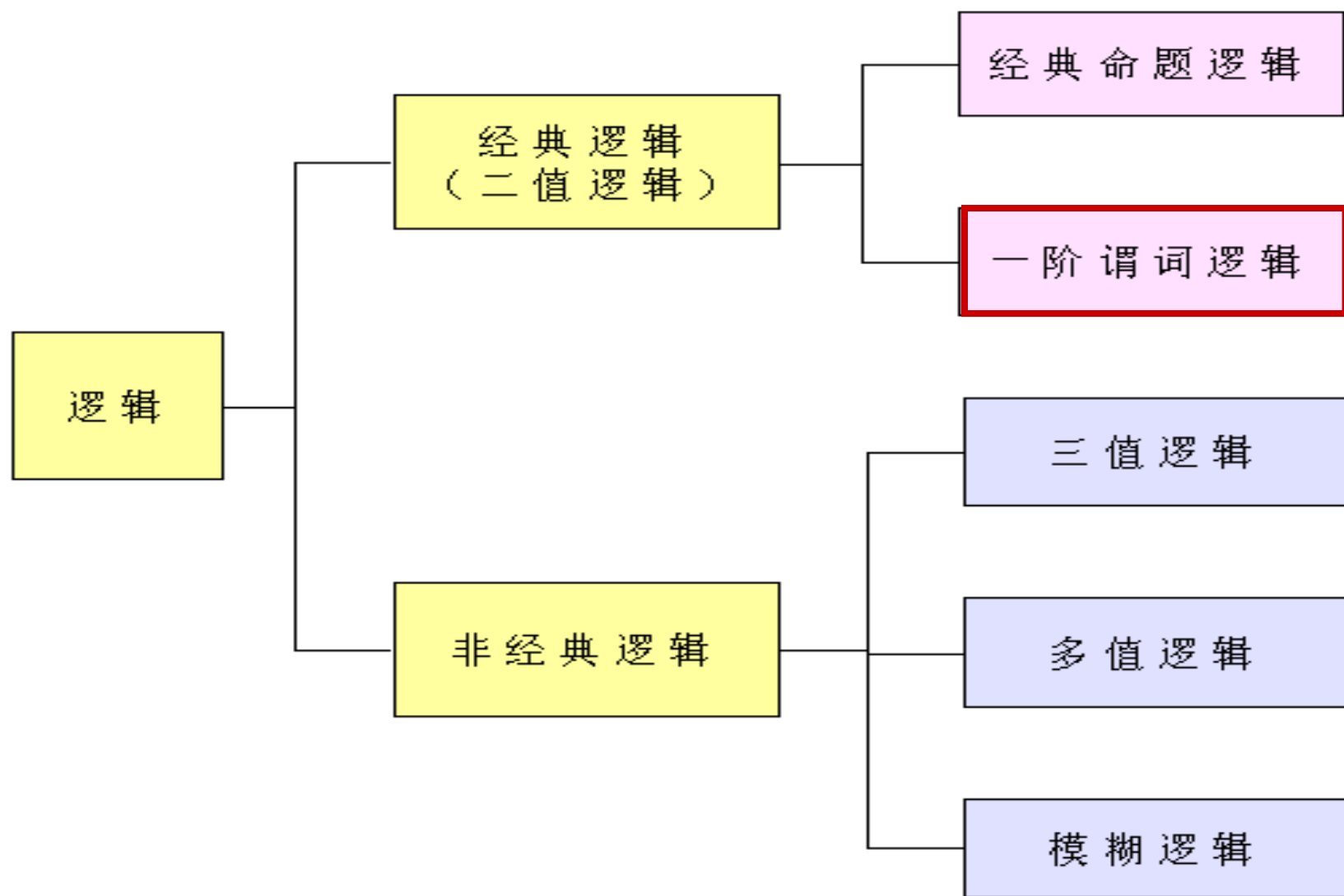
✓ 2.2 一阶谓词逻辑表示法

■ 2.3 产生式表示法

■ 2.4 框架表示法

■ 2.5 语义网络表示法

## 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 (proposition) 例如:  $3 < 5$  非真即假的陈述句。

- 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  $F$ 。
- 一个命题可在一定条件下为假。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

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



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

## 2.2.3 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

### 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

### 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

全称量词和存在量词举例：

$LIKE(x, y)$ ,  $x$ 喜欢运动项目 $y$

■  $(\forall x)(\exists y) LIKE(x, y)$

■  $(\exists y)(\forall x) LIKE(x, y)$

■  $(\exists x)(\exists y) LIKE(x, y)$

■  $(\forall x)(\forall y) LIKE(x, y)$

■  $(\exists x)(\forall y) LIKE(x, y)$

■ 1 有一个运动项目被所有人喜欢

■ 2 所有的运动项目都有人喜欢。

■ 3 所有人都有自己喜欢的运动项目

■ 4 有一个人喜欢所有的运动项目

■ 5 所有人喜欢所有的运动项目

■ 6 有一个人喜欢某项运动

## 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。”



## 2.2.3 谓词公式

### 3. 谓词公式

■ **定义2.2** 可按下述规则得到谓词演算的谓词公式：

- (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：

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

## 2.2.3 谓词公式

### 4. 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。

## 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：个体域中的个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。

*Friends* (george,  $x$ )

*Friends* (george, susie)      *T*

*Friends* (george, kate)      *F*

■ 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 $P \Leftrightarrow Q$ 。
- (4) 德.摩根律(De. Morgen)
- (8) 连接词化规律（蕴含、等价等值式）
- (10) 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

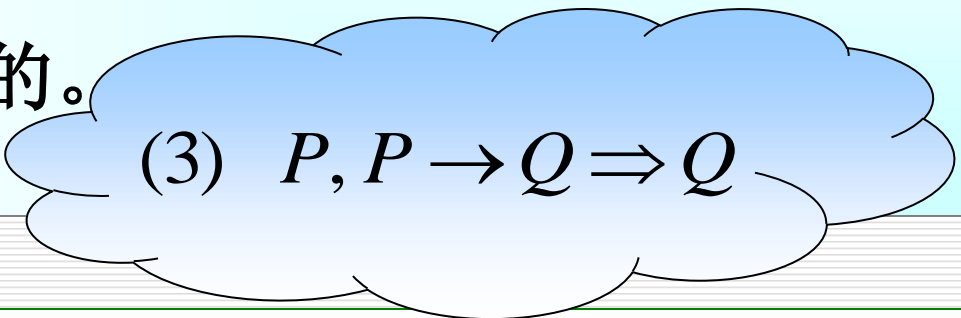
## 2.2.4 谓词公式的性质

### ■ 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

- 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。

## 2.2.5 一阶谓词逻辑知识表示方法

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

**例1** 用谓词公式表示下列知识：

王林是计算机系的学生，但他不喜欢编程序。  
人人爱劳动。

## 2.2.5 一阶谓词逻辑知识表示方法

**例1** 用谓词公式表示下列知识：

王林是计算机系的学生，但他不喜欢编程序。

人人爱劳动。

■ **解** 首先定义下列谓词：

COMPUTER ( $x$ )                      表示 $x$ 是计算机系的学生

LIKE ( $x, y$ )                        表示 $x$ 喜欢 $y$

LOVE( $x, y$ )                        表示 $x$ 爱 $y$

MAN ( $x$ )                            表示 $x$ 是人

可用谓词公式把上述知识表示为：

COMPUTER (Wang Lin)  $\wedge$   $\neg$ LIKE(Wang Lin, Programing)

$(\forall x) (MAN(x) \rightarrow LOVE(x, Labour))$

## 2.2.5 一阶谓词逻辑知识表示方法

- 例2 表示知识“所有教师都有自己的学生”。

## 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

■ 2.5 语义网络表示法

## 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。
- 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。



## 2.3.1 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:  $P \rightarrow Q$

- 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)

## 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）  
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：  $(friend, Li, Wang, 0.1)$

## 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

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

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

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

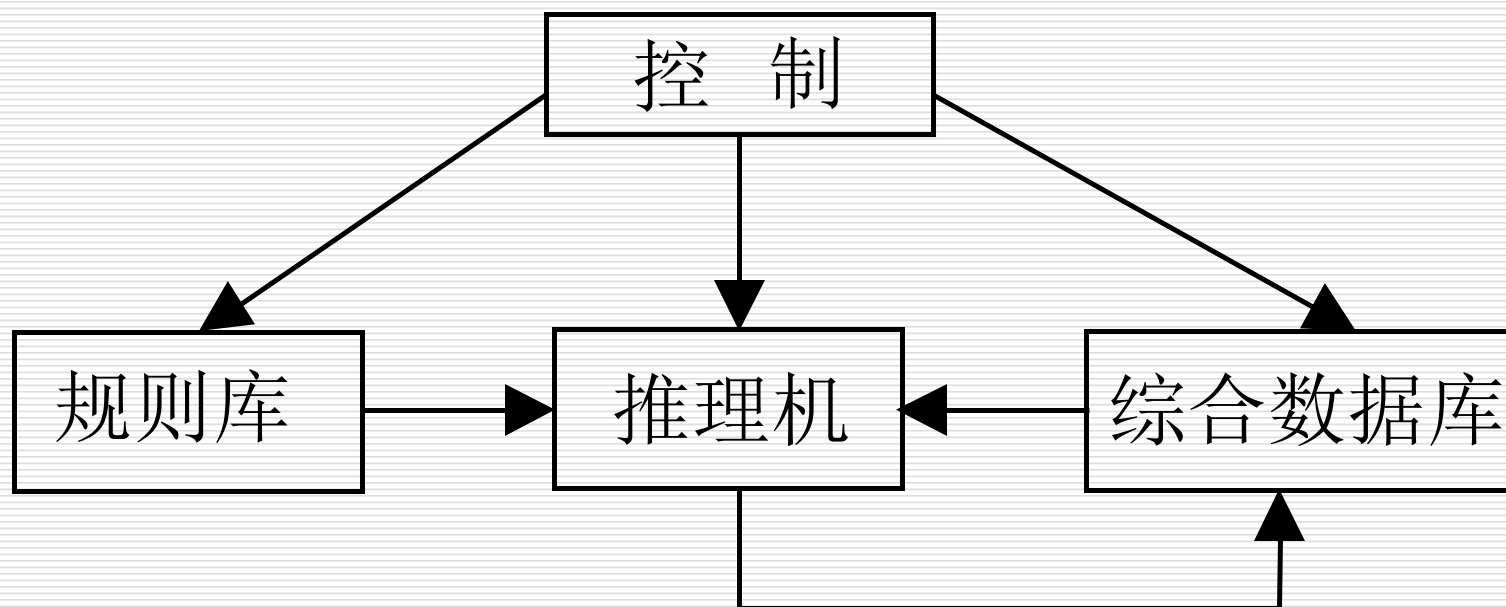
$\langle \text{结 论} \rangle ::= \langle \text{事实} \rangle | \langle \text{操作} \rangle$

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

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

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



产生式系统的基本结构

## 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

### 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：

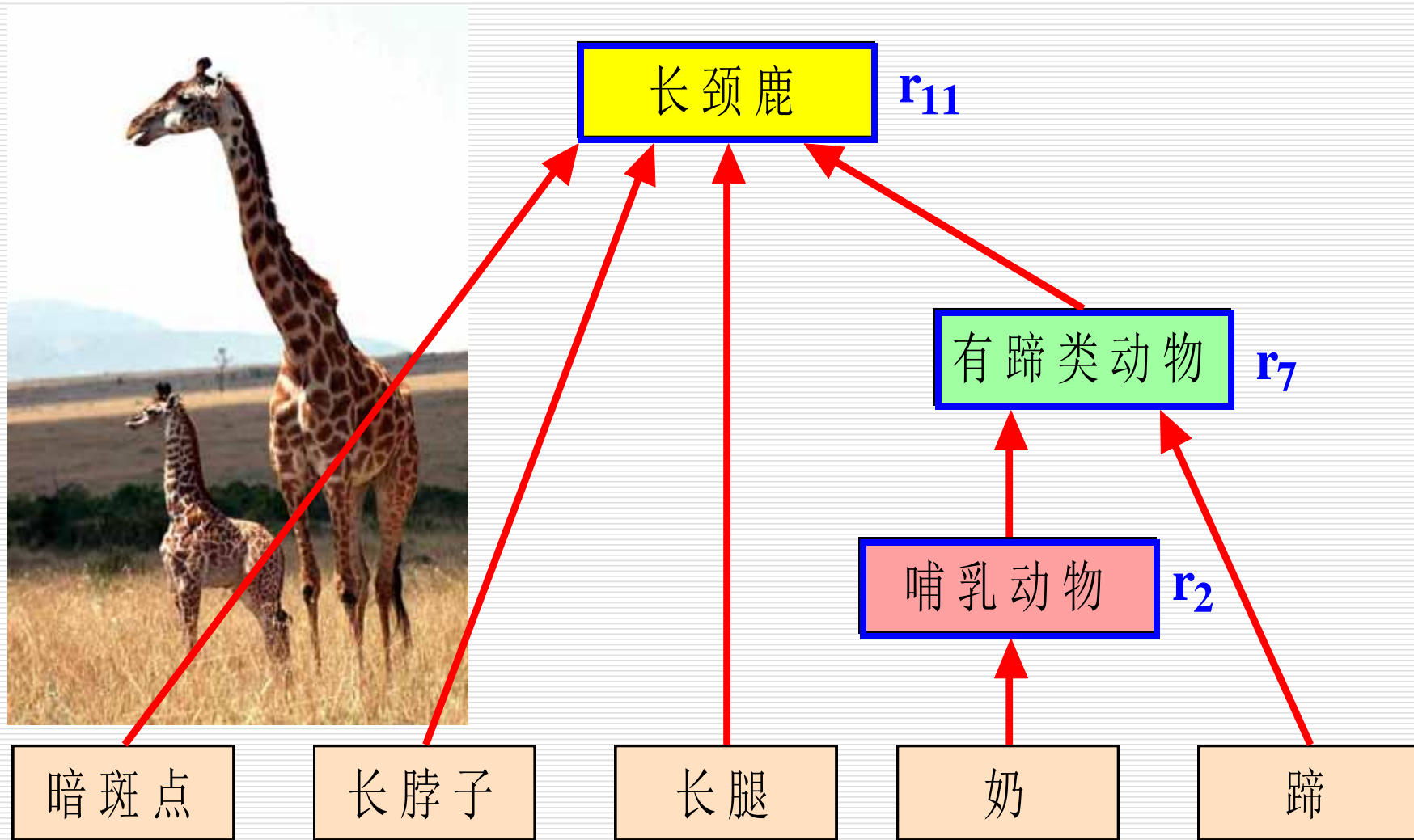
(2) 分别用 $r_3$ ,  $r_4$ ,  $r_5$ ,  $r_6$ 综合数据库中的已知事实进行匹配, 均不成功。 $r_7$ 匹配成功, 执行 $r_7$ 。

### ■ 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

■ 2.5 语义网络表示法

## 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 <sub>11</sub>	侧面值 <sub>111</sub> , ..., 侧面值 <sub>11P1</sub>
	⋮	
	侧面名 <sub>1m</sub>	侧面值 <sub>1m1</sub> , ..., 侧面值 <sub>1mPm</sub>
槽名n:	侧面名 <sub>n1</sub>	侧面值 <sub>n11</sub> , ..., 侧面值 <sub>n1P1</sub>
	⋮	
	侧面名 <sub>nm</sub>	侧面值 <sub>nm1</sub> , ..., 侧面值 <sub>nmPm</sub>
约束:	约束条件 <sub>1</sub>	
	⋮	
	约束条件 <sub>n</sub>	

## 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：计算机系软件教研室

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

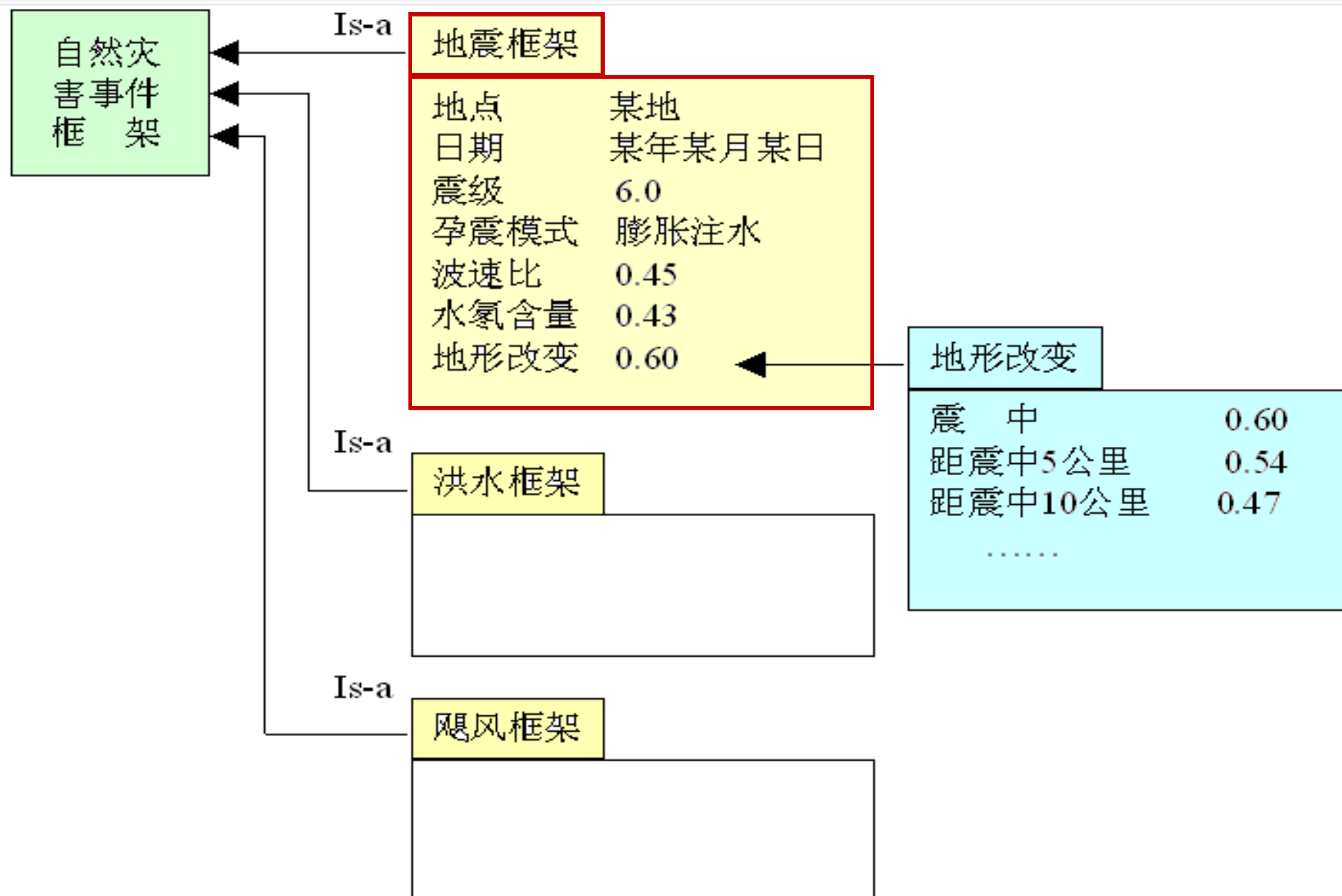
震 级：6.0

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。



# 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
- ✓ 2.5 语义网络表示法

## 2.5 语义网络表示法

- 2.5.1 语义网络
- 2.5.2 基本命题的语义网络表示
- 2.5.3 连接词在语义网络中的表示方法
- 2.5.4 变元和量词在语义网络中的表示方法

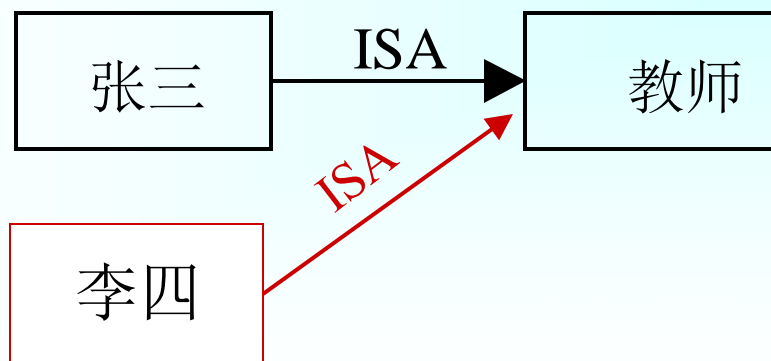
## 2.5.1 语义网络

- 语义网络最早是1968年Quillian在他的博士论文中作为人类联想记忆的一个显式心理学模型提出的。
- 语义网络是一种采用网络形式表示人类知识的方法。
- 一个语义网络是一个带标识的有向图。其中，带有标识的结点表示问题领域中的物体、概念、事件、动作或者态势。
- 在语义网络知识表示中，结点一般划分为实例结点和类结点两种类型。结点之间带有标识的有向弧表示结点之间的语义联系，是语义网络组织知识的关键。

## 2.5.2 基本命题的语义网络表示

### 1. 以个体为中心组织知识的语义联系

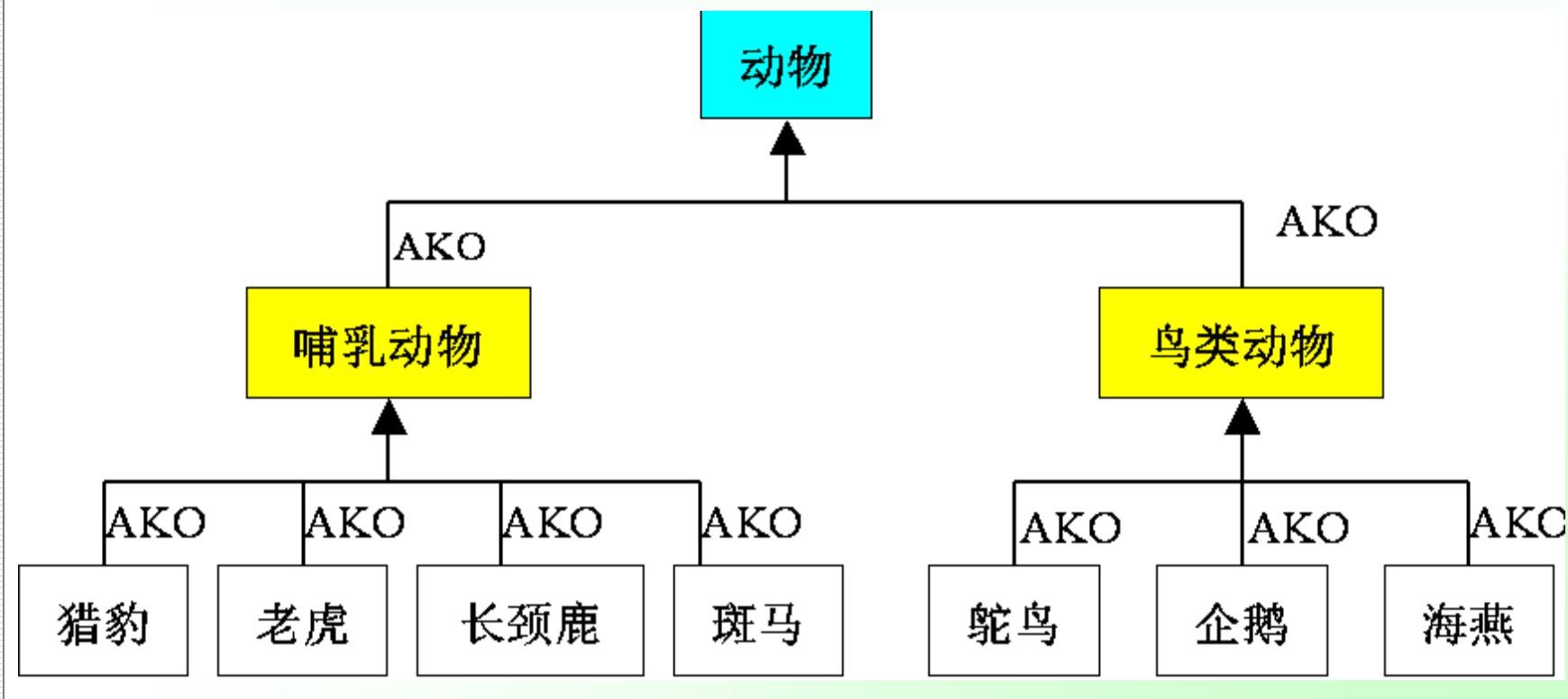
(1) 实例联系：类结点与所属实例结点之间的联系。



## 2.5.2 基本命题的语义网络表示

### 1. 以个体为中心组织知识的语义联系

(2) 泛化联系：AKO (a kind of)

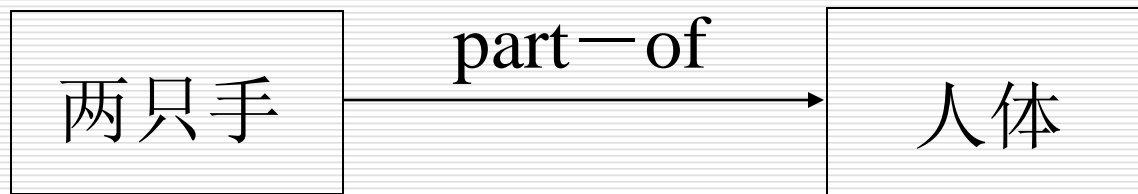


## 2.5.2 基本命题的语义网络表示

### 1. 以个体为中心组织知识的语义联系

(3) 聚集联系：某一个体与其组成成分之间的联系， part-of。

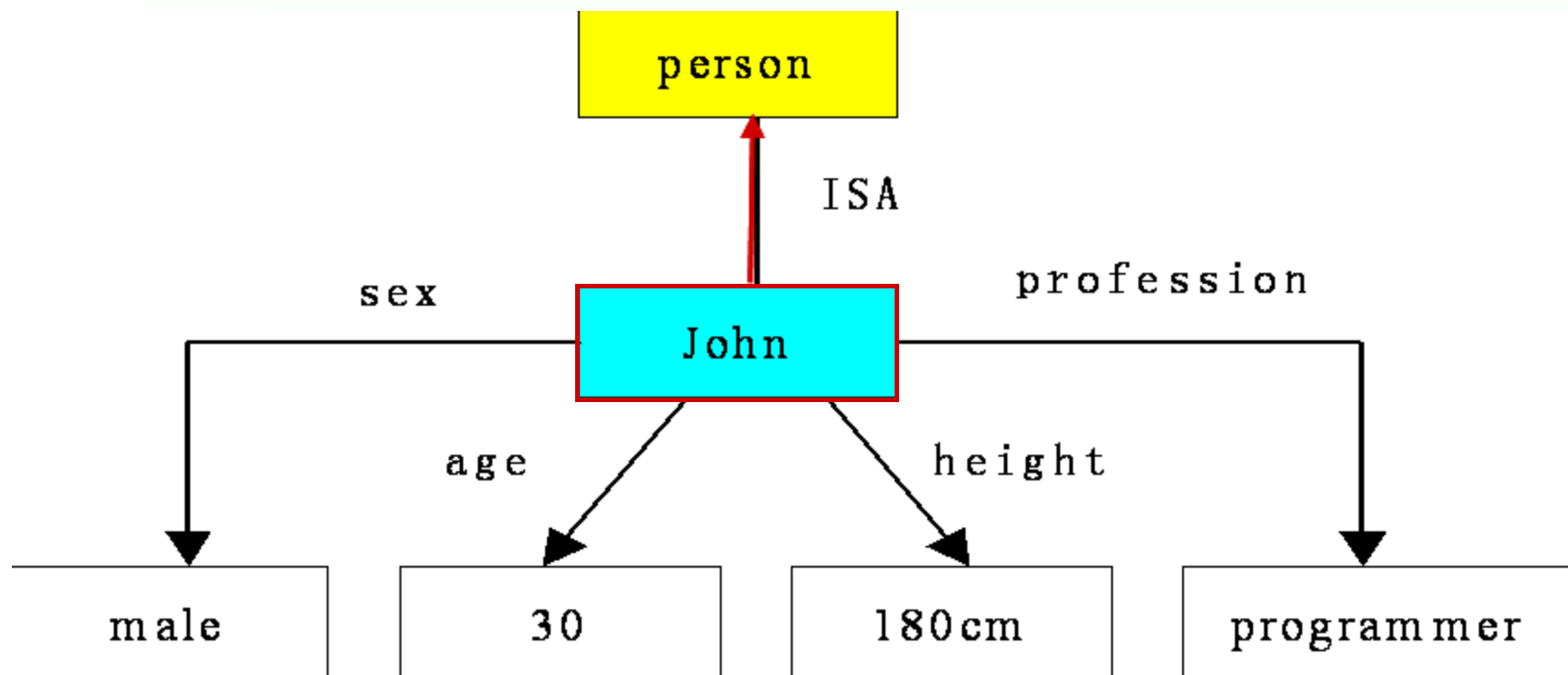
例如：两只手是人体的一部分。



## 2.5.2 基本命题的语义网络表示

### 1. 以个体为中心组织知识的语义联系

(4) 属性联系：个体、属性及其取值之间的联系。

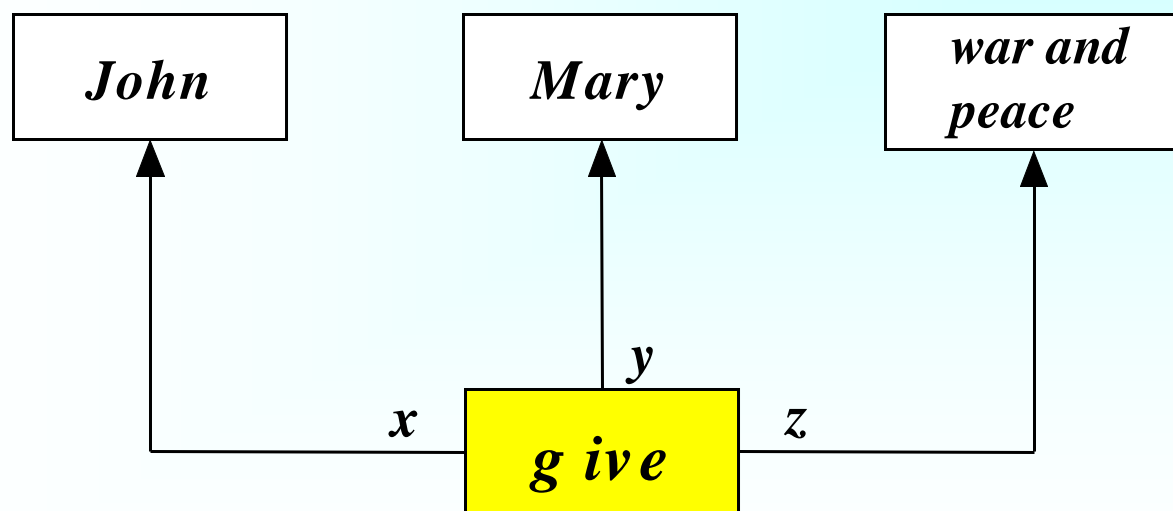


## 2.5.2 基本命题的语义网络表示

### 2. 以谓词或关系为中心组织知识的语义联系

3元谓词 *give*( $x, y, z$ ) :  $z$  是  $x$  给  $y$  的。

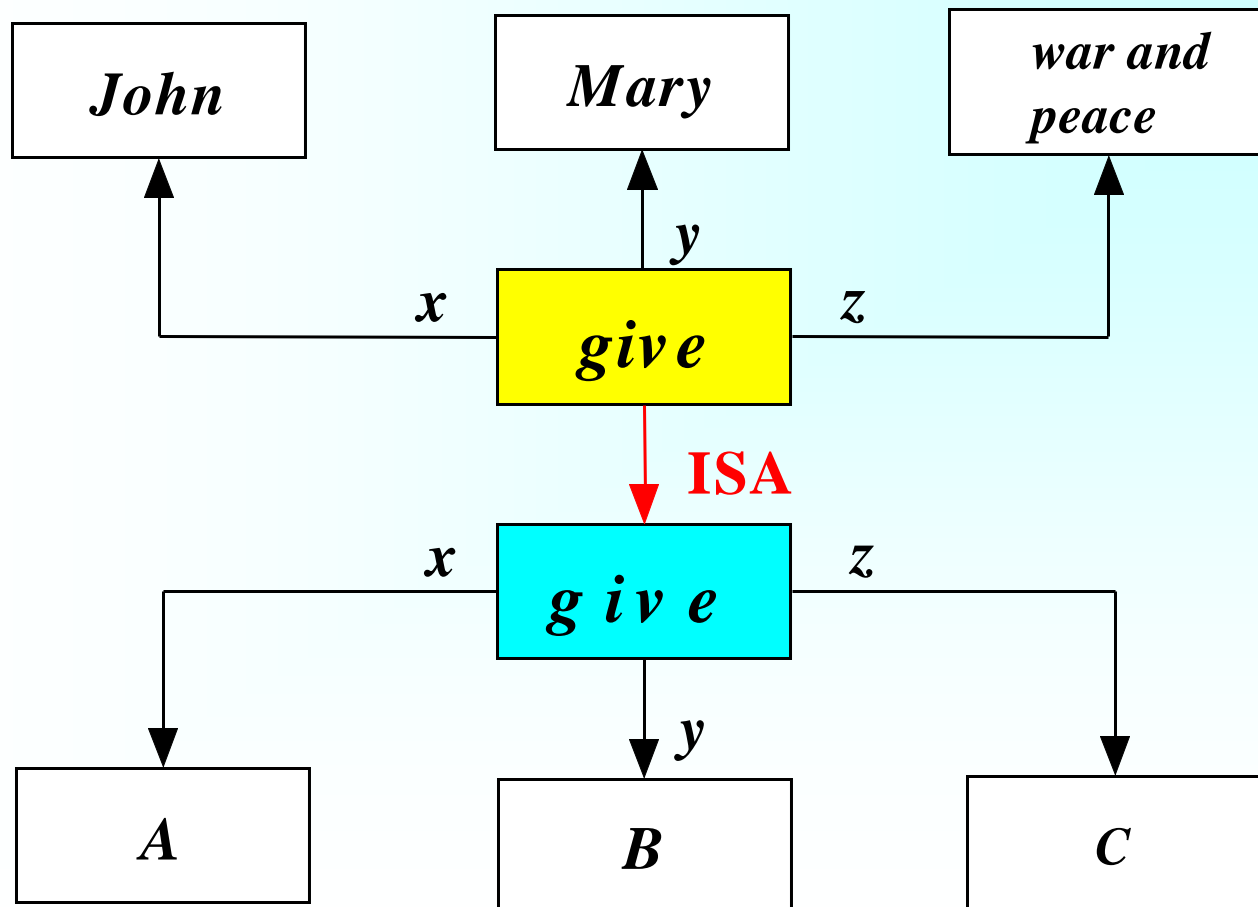
$x$  : *John*,  $y$  : *Mary*,  $z$  : *war and peace*。





## 2.5.2 基本命题的语义网络表示

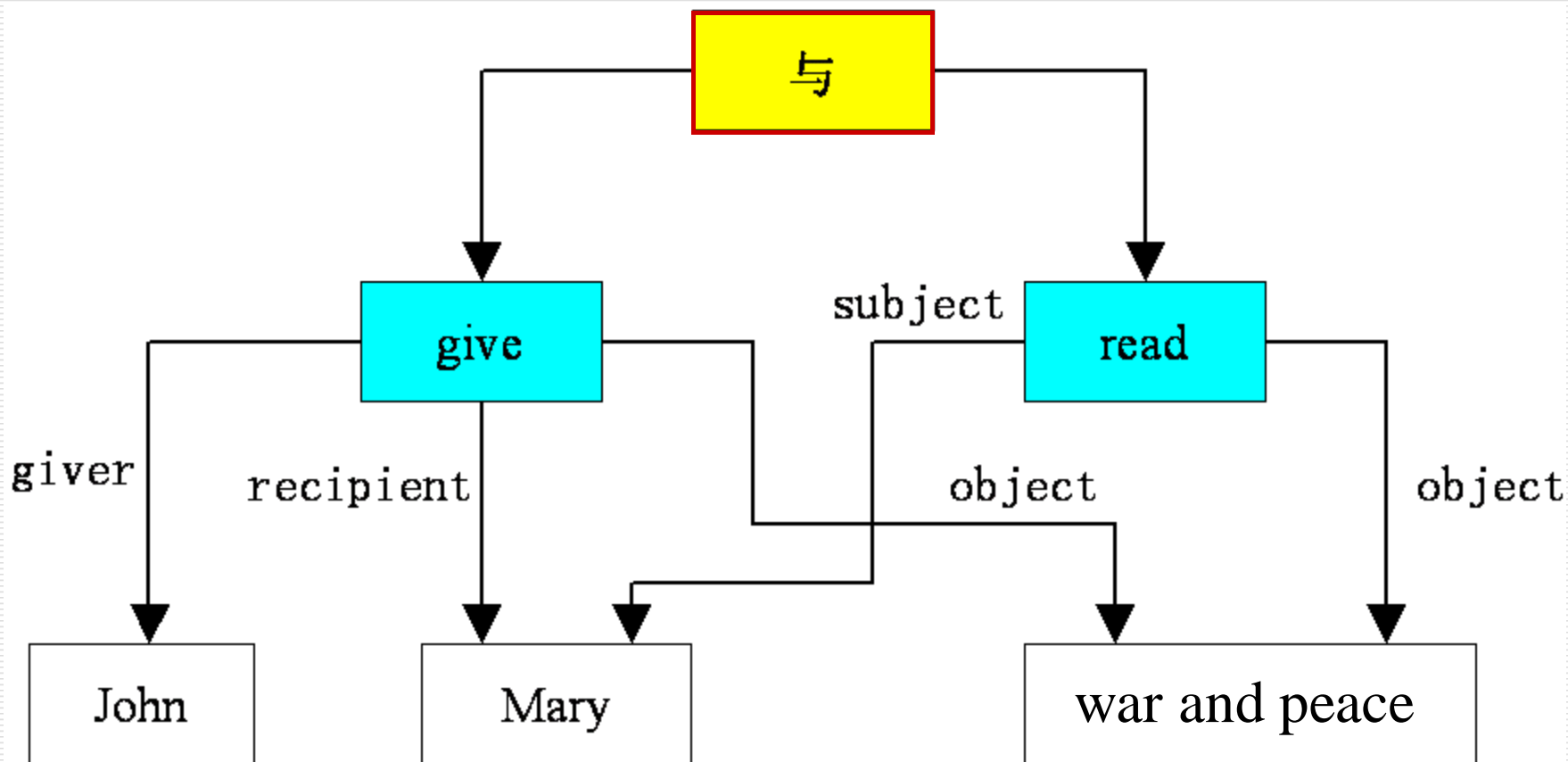
### 2. 以谓词或关系为中心组织知识的语义联系



## 2.5.3 连接词在语义网络中的表示方法

### 1. 合取（与）

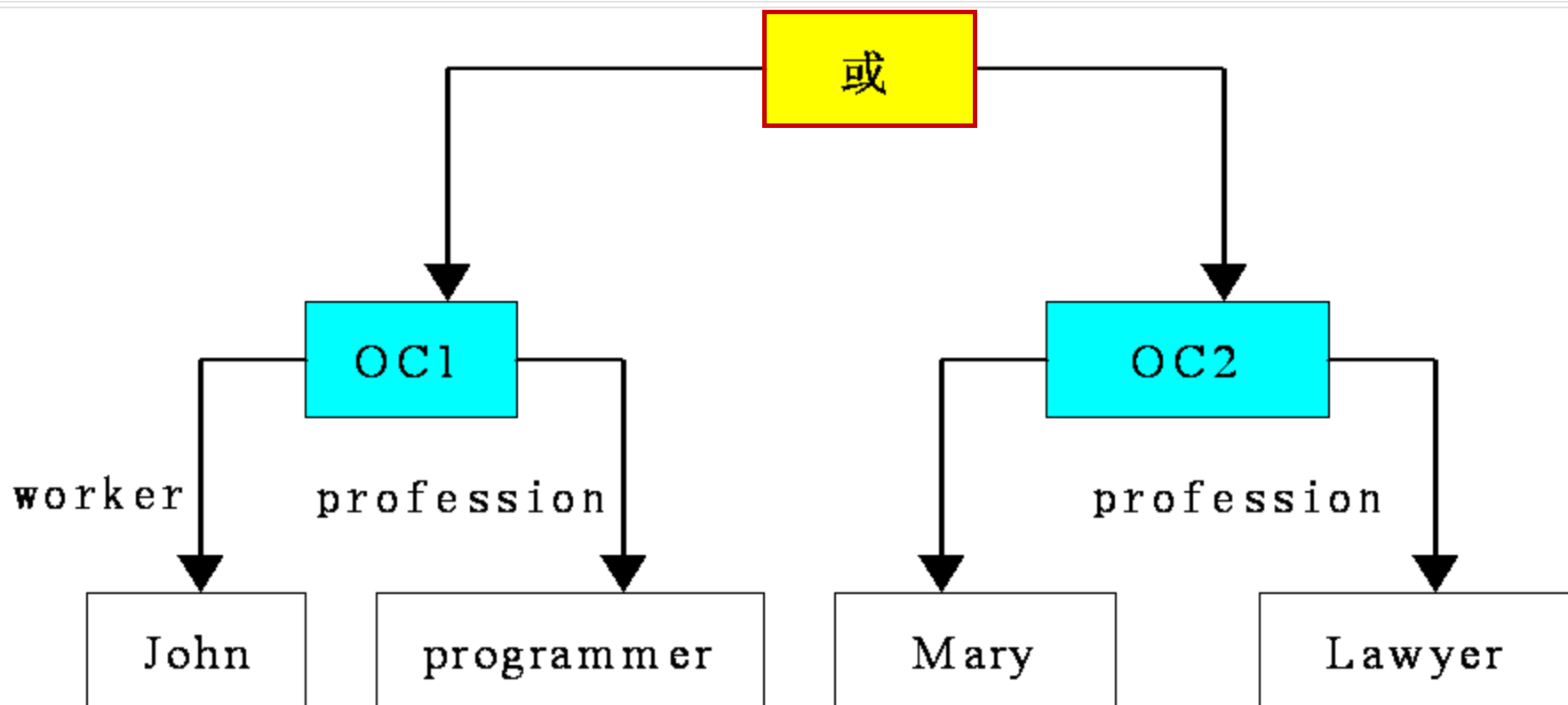
■ *give (John, Mary, war and peace) ∧ read (Mary, war and peace)*



## 2.5.3 连接词在语义网络中的表示方法

### 2. 析取（或）

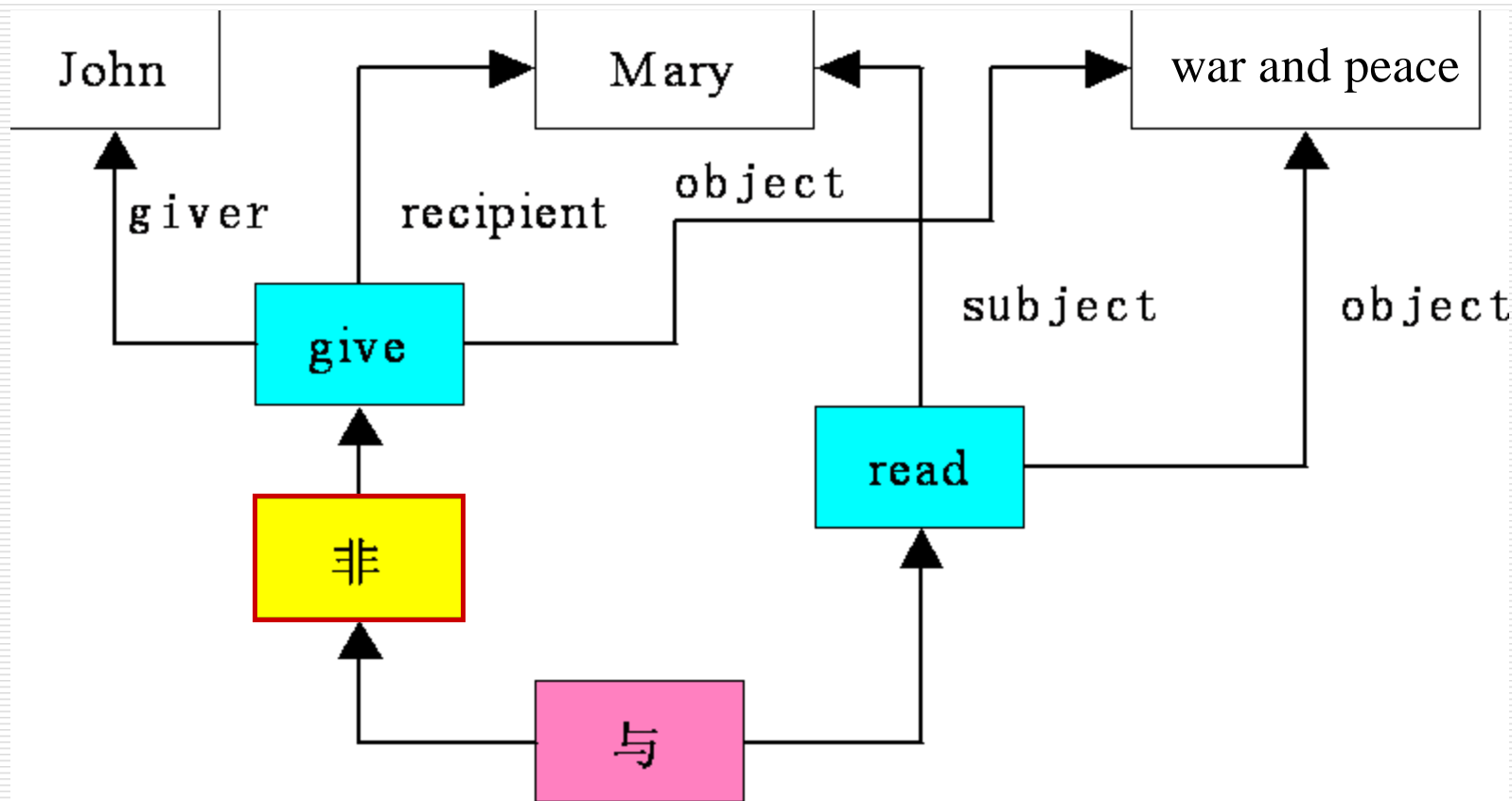
- John is a programmer or Mary is a lawyer.



## 2.5.3 连接词在语义网络中的表示方法

### 3. 否定(“ $\neg$ ISA、 $\neg$ AKO、 $\neg$ part-of”或非)

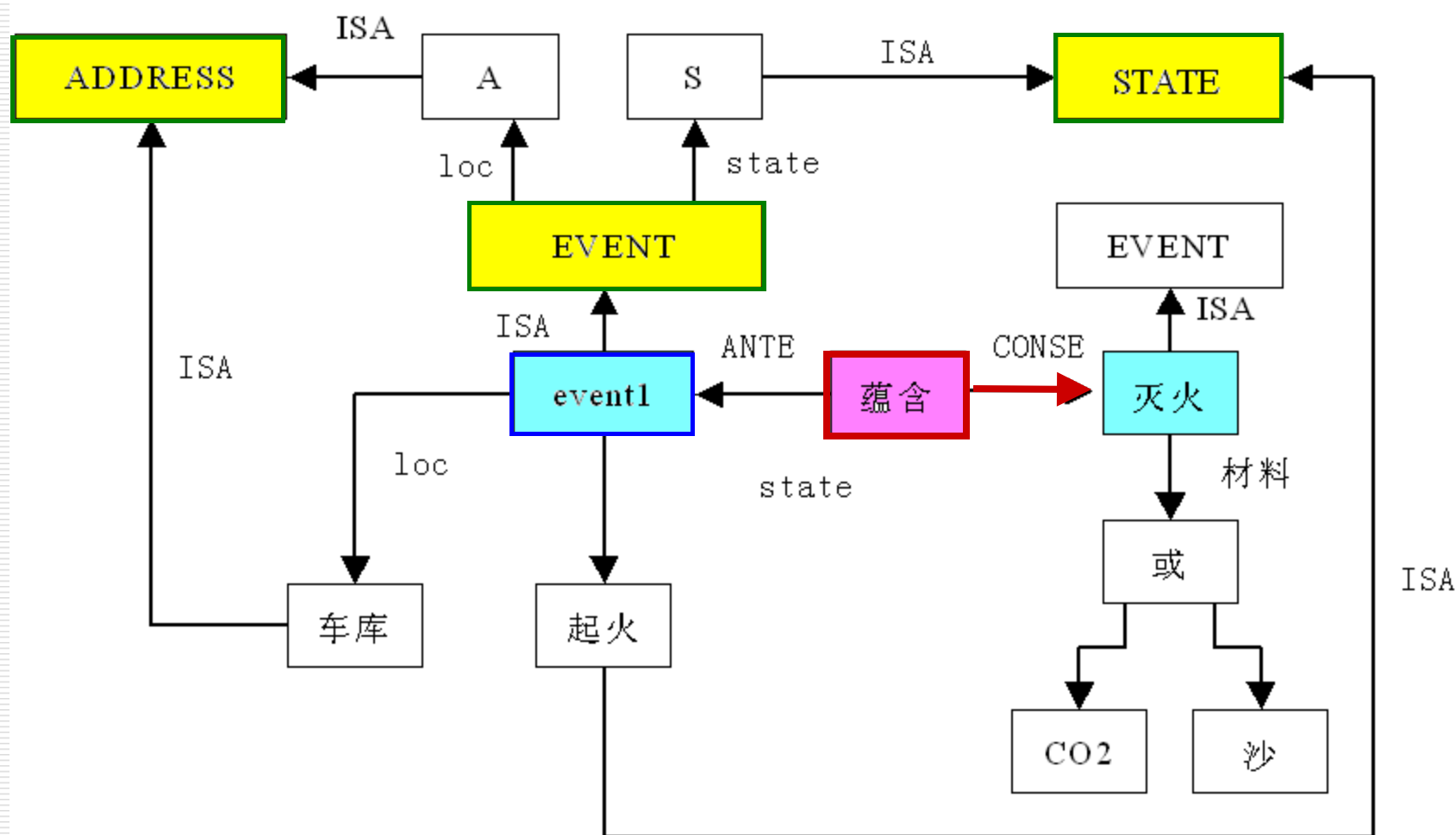
- $\neg \text{give}(\text{John}, \text{Mary}, \text{war and peace}) \wedge \text{read}(\text{Mary}, \text{war and peace})$



## 2.5.3 连接词在语义网络中的表示方法

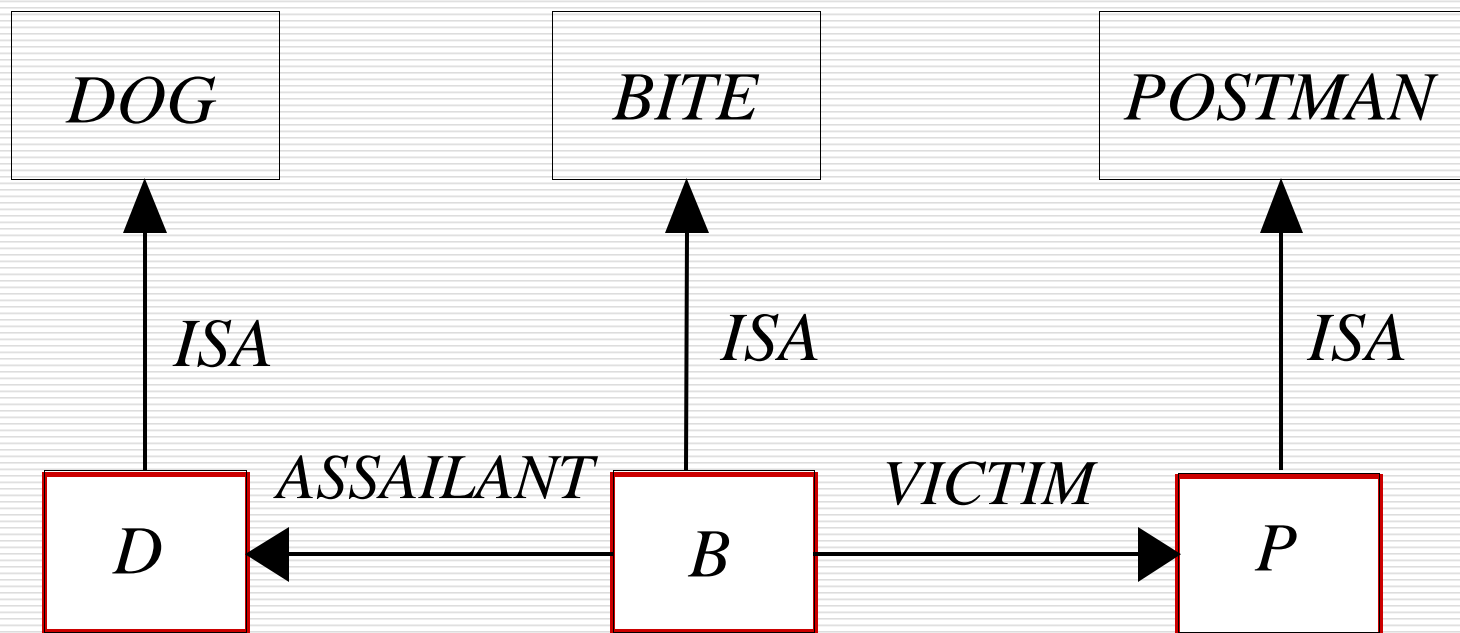
### 4. 蕴含

- “如果车库起火，那么用 $CO_2$ 或沙来灭火。”



## 2.5.4 变元和量词在语义网络中的表示方法

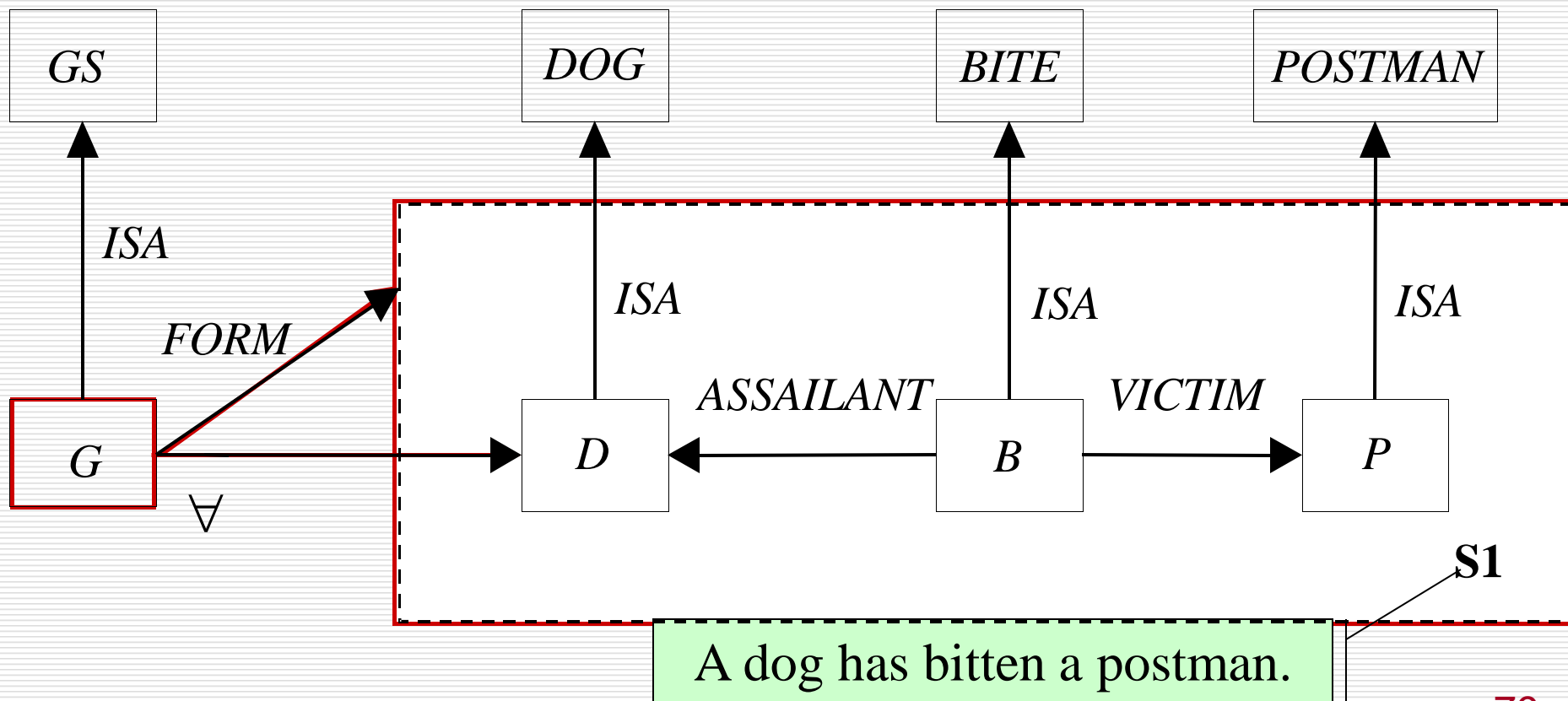
- 存在量词直接用ISA弧表示。
- 全称量词用分块方法表示。
- 例如，命题：The dog bit the postman.



## 2.5.4 变元和量词在语义网络中的表示方法

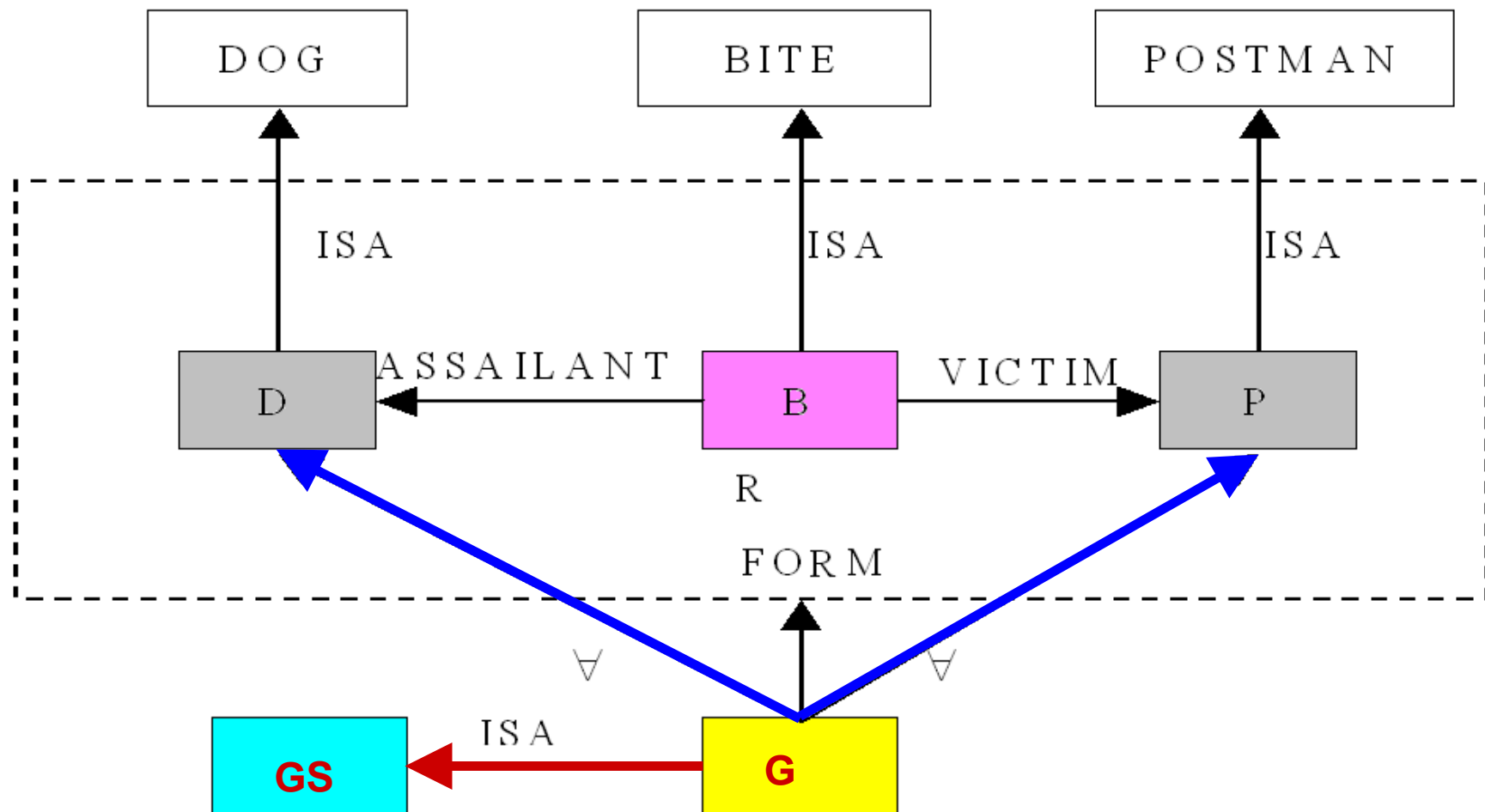
■ 命题: Every dog has bitten a postman.

谓词逻辑表示:  $(\forall x)DOG(x) \rightarrow (\exists y)[POSTMAN(y) \wedge BITE(x, y)]$



## 2.5.4 变元和量词在语义网络中的表示方法

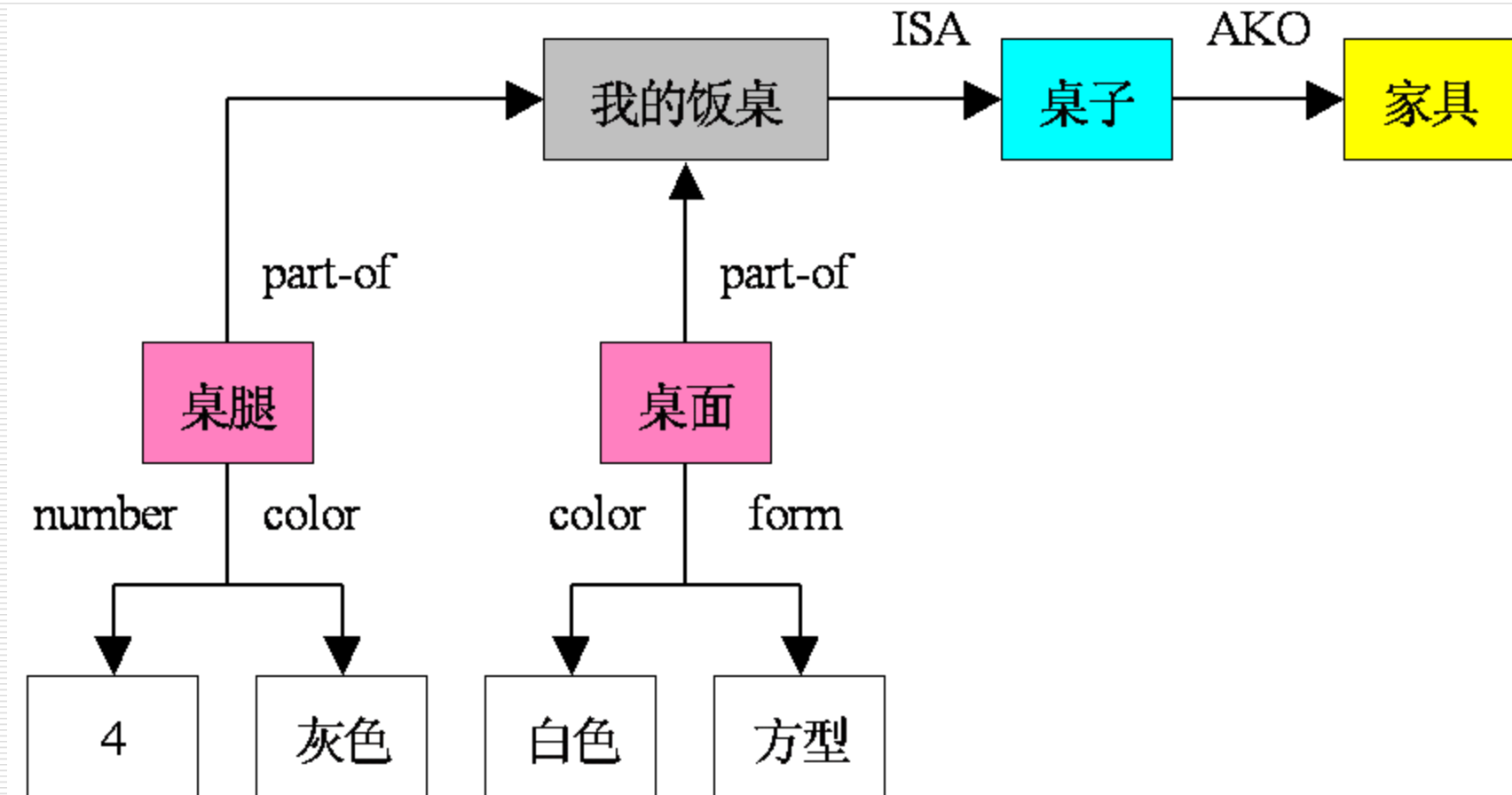
■ 命题 (3) : **Every dog has bitten every postman.**





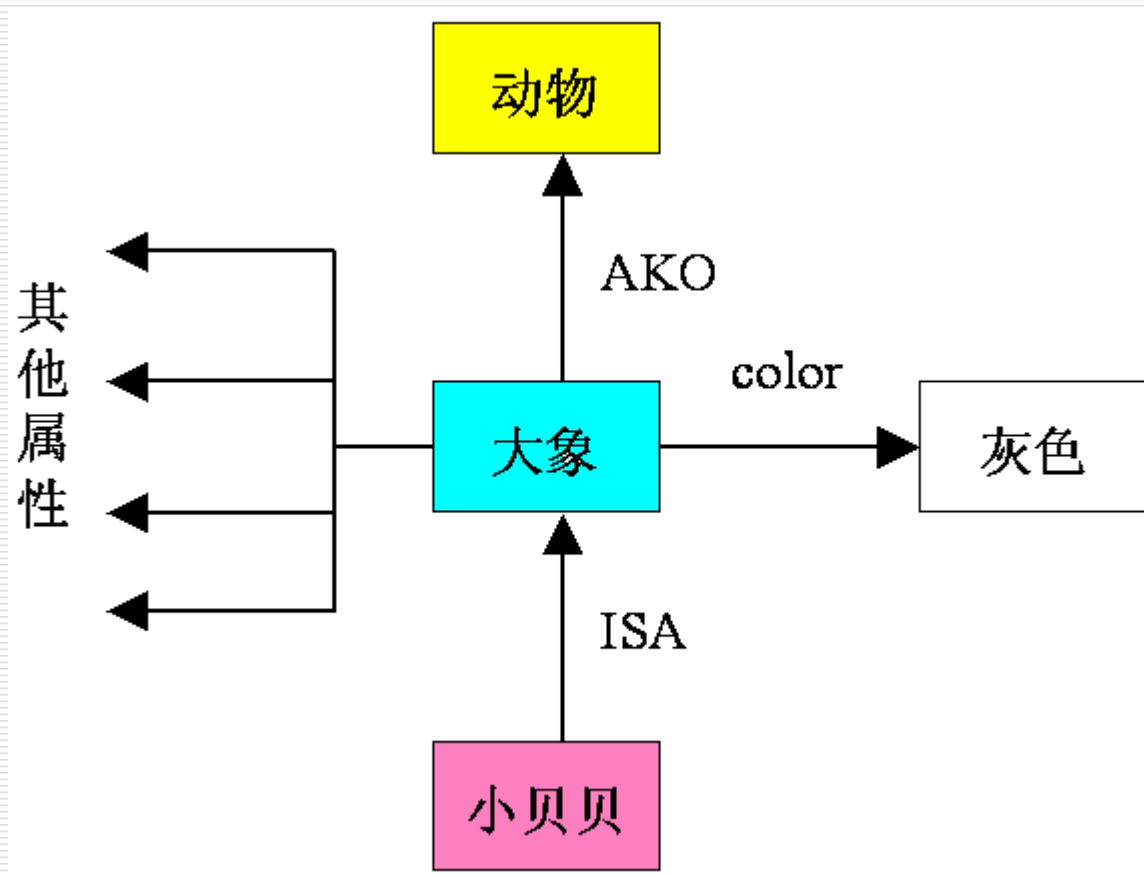
## 2.5.5 语义网络表示法示例

### ■ 例5 描述桌子的语义网络。



## 2.5.5 语义网络表示法示例

- 例6 设有下图所示动物分类网络片断，现在要求证明小贝贝是灰色的。



## 2.5.6 语义网络表示法的特点

### ■ 优点:

- (1) 结构性: 能把事物的属性及事物间的各种语义联系显式地表示出来。
- (2) 联想性: 便于以联想的方式实现对系统的检索, 使之具有记忆心理学中的联想特性。
- (3) 自然性: 便于理解, 自然语言与语义网络间的转换易实现。

## 2.5.6 语义网络表示法的特点

### ■ 缺点:

- (1) **非严格性**: 没有公认的形式表示体系, 所表达的含义依赖于处理程序如何对它进行解释。
- (2) **处理上的复杂性**: 表示形式的不一致性导致处理复杂。

## 2.5.6 语义网络表示法的特点

### ■ 应用

- (1) Walker 研制的自然语言理解系统。
- (2) Garbonell 研制的回答地理问题的教学系统。
- (3) Mytopoulous 研制的自然语言理解系统。
- (4) Simmon 研制的自然语言理解系统。
- (5) Hays研制的描写概念的系统。



**THE END**

