

# 第2章 知识表示

人工智能问题的求解是以**知识**为基础的。知识表示方法的提出，常模仿人脑的知识存储结构，心理学家对知识表示方法的研究做出了重要的贡献。

# 概述

知识、信息和数据

知识的分类

知识的表示

常用的知识表示方法

## 知识、信息和数据

- **数据**是指对客观事件进行记录并可以鉴别的符号，分为**连续**和**离散**两类。
- **数据**是**信息**的载体和表示。
- **信息**是**数据**在特定场合下的含义，或**数据**的语义，是对客观事物的一般性描述。
- 相同的**数据**在不同的环境下表示不同的含义即蕴含着不同的**信息**。
- 相同的**信息**也可以用不同的**数据**表示出来。
- **知识**是对信息进行加工所形成的对客观世界规律性的认识，即把有关**信息**关联在一起所形成的信息结构。

# 知识的分类

- 按知识的作用范围分类：  
常识性知识、领域性知识
- 按知识的作用及表示分类：  
事实性知识、规则性知识、控制性知识、元知识
- 按知识的确定性分类：  
确定知识、不确定知识
- 按人类的思维及认识方法分类：  
逻辑性知识、形象性知识

# 什么是知识表示？

**知识表示**就是用易于计算机处理的方式来描述人脑的知识。

**基于符号的知识表示**将知识符号化并输入计算机的过程和方法。

包含两层含义：

1. 用给定的知识结构，按一定的原则，组织表示知识。
2. 解释所表示知识的含义。

强逻辑约束、易于解释

**基于向量的知识表示**

弱逻辑约束、不易解释、对接神经网络。

# 常用的知识表示法与推理

- 谓词逻辑表示法
- 产生式表示法
- 语义网络表示法

.....

## 2.2 一阶谓词逻辑表示法

**一阶谓词逻辑表示法**是一种重要的知识表示方法,它以数理逻辑为基础,是到目前为止能够表达人类思维活动规律的一种最精确的形式语言。它与人类的自然语言比较接近,由可方便地存储到计算机中去,并被计算机做精确处理。因此,它是一种最早应用于人工智能中的表示方法。

## 2.2 一阶谓词逻辑表示法

### 2.2.1 知识的谓词逻辑表示法

用一阶谓词逻辑公式可以表示事物的状态、属性、概念等事实性知识，也可以表示事物间具有确定因果关系的规则性知识。



## 2.2 一阶谓词逻辑表示法

### 2.2.2 用谓词公式表示知识的步骤

用**谓词公式表示知识**的步骤如下：

- 1、定义用**谓词**及**个体**，确定每个谓词及个体的确切含义；
- 2、根据所要表达的事物或概念，为每个谓词中的**变元**赋以特定的**值**；
- 3、根据所要表达的知识的语义，用适当的连接符号将各个谓词连接起来，形成**谓词公式**。

## 2.2 一阶谓词逻辑表示法

### 2.2.3 谓词公式表示知识的举例

#### 例2.3 机器人搬弄积木块问题表示

设在一个房间里，有一个机器人ROBOT，一个壁室ALCOVE，一个积木块BOX，两个桌子A和B。机器人可把积木块BOX从一种状态转换成另一种状态，即把box从桌子a转移到桌子b上。

解：个体定义为：机器人：robot； 积木块：box  
壁橱：alcove； 桌子：a, b

定义谓词如下：

TABLE (x)	x 是桌子
EMPTYHANDED (x)	x双手是空的
AT (x, y)	x在y旁边
HOLDS (y, w)	y拿着w
ON (w, x)	w在x上
EMPTYTABLE (x) :	桌子x上是空的

根据问题的描述将问题的初始状态和目标状态分别用谓词公式表示出来：  
设定**初始状态**是

$AT(robot, alcove) \wedge EMPTYHANDED(robot) \wedge ON(box, a) \wedge TABLE(a) \wedge$   
 $TABLE(b) \wedge EMPTYTABLE(b)$

**目标状态**是：

$AT(robot, alcove) \wedge EMPTYHANDED(robot) \wedge ON(box, b) \wedge TABLE(a) \wedge$   
 $TABLE(b) \wedge EMPTYTABLE(a)$

对此问题的求解，实际上就是要寻找一组机器人可以执行的操作，利用这组操作实现初始状态到目标状态的转变。

本例中,机器人 robot 将积木块 box 从桌子 a 移到桌子 b 所要执行的操作有如下 3 个:

GOTO( $x, y$ ):从  $x$  处走到  $y$  处。

PICK-UP( $x$ ):在  $x$  处拿起盒子。

SET-DOWN( $x$ ):在  $x$  处放下盒子。

这 3 个操作可分别用条件和动作表示如下。

GOTO( $x, y$ )

条件:AT(robot,  $x$ )

动作:删除 AT(robot,  $x$ )

增加 AT(robot,  $y$ )

PICK-UP( $x$ )

条件:ON(box,  $x$ )  $\wedge$  TABLE( $x$ )  $\wedge$  AT(robot,  $x$ )  $\wedge$  EMPTYHANDED(robot)

动作:删除 ON(box,  $x$ )  $\wedge$  EMPTYHANDED(robot)

增加 HOLDS(robot, box)

SET-DOWN( $x$ )

条件:TABLE( $x$ )  $\wedge$  AT(robot,  $x$ )  $\wedge$  HOLDS(robot, box)

动作:删除 HOLDS(robot, box)

增加 ON(box,  $x$ )  $\wedge$  EMPTYHANDED(robot)

## 例2.4 Honil 塔问题表示

已知三个柱子1, 2, 3和三个盘子A, B, C (A比B小, B比C小)。初始状态下, A, B, C依次放在1柱上。目标状态是A, B, C依次放在柱子3上。条件是每次可移动一个盘子, 盘子上方是空顶方可移动, 而任何时候都不允许大盘在小盘之上。

解: 这个问题, 使用逻辑法可作如下描述。

1. 个体      3个盘子:A, B, C; 三个柱子:1, 2, 3; 而  $S$  表示状态

### 谓词

$\text{DISK}(x)$ :  $x$  是盘子。

$\text{PEE}(p, w)$ : 盘子  $w$  在柱子  $p$  上。

$\text{SMALLER}(x, y)$ :  $x$  比  $y$  小。

$\text{FREE}(x, S)$ : 状态  $S$  下,  $x$  空顶。

$\text{LEGAL}(x, y, S)$ : 状态  $S$  下,  $x$  可向  $y$  上移动。

$\text{ON}(x, y, S)$ : 状态  $S$  下,  $x$  在  $y$  上。

### 函数

$S' = \text{MOVE}(x, y, S)$  表示状态  $S$  下,  $x$  移到  $y$  上所得的新状态  $S'$ 。

## 2. 用一阶逻辑谓词公式表示规则

- $(\forall x)(\forall y)(\forall z)((\text{SMALLER}(x,y) \wedge \text{SMALLER}(y,z) \rightarrow \text{SMALLER}(x,z))$

表示盘子大小关系的传递性。

- $(\forall x)(\forall S)(\text{FREE}(x,S) \rightarrow \sim (\exists y)\text{ON}(x,y,S))$

表示状态  $S$  下, 如果  $x$  是空顶, 则必知  $S$  状态下无  $y$  在  $x$  上。

- $(\forall x)(\forall y)(\forall S)(\text{LEGAL}(x,y,S) \leftrightarrow \text{FREE}(x,S) \wedge \text{FREE}(y,S) \wedge \text{DISK}(x) \wedge \text{SMALLER}(x,y))$

表示  $x$  可向  $y$  上移动的充分必要条件为  $x$  和  $y$  均空顶且  $x$  比  $y$  小,  $x$  是盘子。

- $(\forall x)(\forall y)(\forall S)(\forall S') (S' = \text{MOVE}(x,y,S) \rightarrow \text{ON}(x,y,S') \wedge (\forall z_1)(\forall z_2)((\sim (z_1 = x) \wedge \sim (z_2 = y)) \rightarrow (\text{ON}(z_1,z_2,S) = \text{ON}(z_1,z_2,S')) \wedge (\forall z)(\text{ON}(x,z,S) \rightarrow \text{FREE}(z,S')))$

表示如果在状态  $S$  下, 将  $x$  移动到  $y$  上得新状态  $S'$ , 则没移动的盘子间的 ON 关系没有变动, 而  $x$  下面的盘子却是空顶了。

- 2.3 用一阶逻辑谓词公式表示状态

初始状态  $S_0$  的谓词公式：

$$\text{DISK}(A) \wedge \text{DISK}(B) \wedge \text{DISK}(C) \wedge \text{PEE}(1,A) \wedge \text{PEE}(1,B) \wedge \text{PEE}(1,C) \wedge \text{SMALLER}(A, \\ B) \wedge \text{SMALLER}(B,C) \wedge \text{FREE}(A,S_0) \wedge \text{ON}(A,B,S_0) \wedge \text{ON}(B,C,S_0)$$

目标状态  $S_g$  的谓词公式：

$$\text{DISK}(A) \wedge \text{DISK}(B) \wedge \text{DISK}(C) \wedge \text{PEE}(3,A) \wedge \text{PEE}(3,B) \wedge \text{PEE}(3,C) \wedge \text{SMALLER}(A, \\ B) \wedge \text{SMALLER}(B,C) \wedge \text{FREE}(A,S_g) \wedge \text{ON}(A,B,S_g) \wedge \text{ON}(B,C,S_g)$$

## 2.2 一阶谓词逻辑表示法

### 2.2.4 一阶谓词逻辑表示法的特点

一阶谓词逻辑表示法的特点如下：

(1) 自然性

(2) 适宜于精确性知识的表示，而不适宜于不确定性知识的表示

(3) 易实现



## 2.3 产生式表示法

### 产生式可以表示的知识种类

产生式表示方法容易描述**事实**，**规则**以及它们的不确定性度量。

## 2.3 产生式表示法

事实可看成是断言一个语言变量的值或是多个语言变量间的关系的陈述句  
确定性事实：

（对象，属性，值）或（关系，对象1，对象2）

例：事实 老李年龄是35岁，便写成

（Li, Age, 35）

而老李、老张是朋友，可写成

（Friend, Li, Zhang ）

不确定性事实：

（对象，属性，值，可信度值）或 （关系，对象1，对象2，可信度值）

例：事实 老李年龄可能是40岁，便写成

（Li, Age, 40, 0.8）

而老李、老张是朋友的可能性不大，可写成

（Friend, Li, Zhang, 0.1 ）

其中对象就是语言变量。

语言变量的值可以是一个词，不一定是数字。

例：雪是白色的，其中雪是语言变量，其值是白色的。

# 规则

- 确定性规则:

$P \rightarrow Q$  或 IF P THEN Q

产生式与谓词逻辑中蕴涵式的区别

- ① 产生式可以表示精确与不精确知识，蕴涵式只能表示精确知识；
- ② 产生式没有真值，蕴涵式有真值。

- 不确定性规则:

$P \rightarrow Q(\text{置信度})$  或 IF P THEN Q(置信度)

## 2.3 产生式表示法

### 2.3.3 产生式系统的组成

多数较为简单的专家系统都是以产生式表示知识的，相应的系统称作**产生式系统**。

产生式系统，由**知识库**和**推理机**两部分组成，其中知识库由**规则库**和**数据库**组成。规则库是产生式规则的集合，数据库是事实的集合。

**规则库**是某领域知识（规则）的存储器，规则是以产生式表示的，规则集蕴涵着将问题从初始状态转换解状态的那些变换规则，**规则库是专家系统的核心**。规则可表成与或树形式，基于数据库中事实对这与或树的求值过程就是推理。

**数据库**存放输入的事实、外部数据库输入的事实以及中间结果（事实）和最后结果的工作区。

**推理机**是一个程序，控制协调规则库与数据库的运行，包含了推理方式和控制策略

## 2.4 语义网络表示法

语义网络是1968年Quillian在研究**人类联想记忆**时提出的心理学模型，认为记忆是由概念间的联系实现的。1972年Simon首先将语义网络表示法用于**自然语言理解系统**。

## 2.4 语义网络表示法

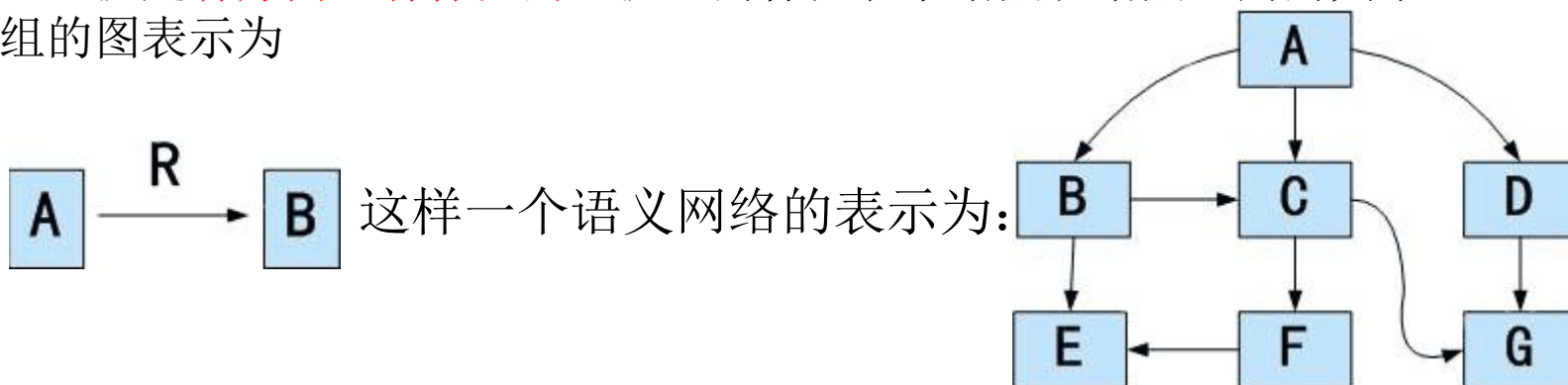
### 2.4.1 语义网络的概念及结构

定义：通过**概念**及其**语义关系**来表示知识的一种**有向网络图**。

一个语义网络是由 **三元组** （**结点1，弧，结点2**） **连结而成**。

结点表示**概念、事物、事件、情况**等。结点上的标注用来区分各结点所表示的不同对象，每个结点可以带有若干个属性以表示其所代表的对象的特性。

弧是**有方向、有标注的**。弧上的标注表示结点和结点之间的关系。 这三元组的图表示为



## 2.4 语义网络表示法

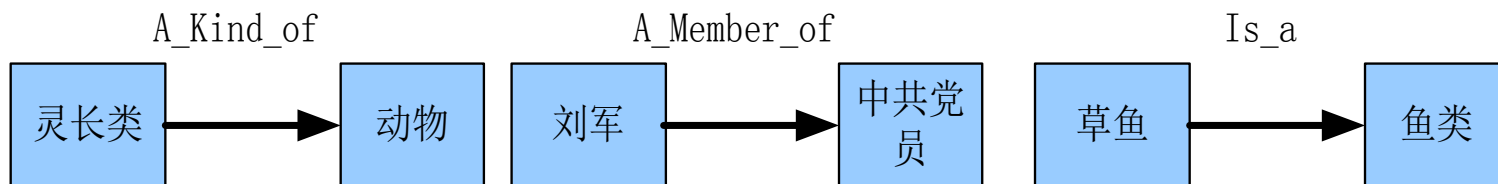
### 2.4.2 语义网络中常用的语义联系：

#### (1) 类属关系

用来表示具体抽象关系，或说表示一种隶属关系，体现某种层次分类。  
特点是具体层结点可继承抽象层结点的属性。

常用的类属关系

**AKO:** 表示一个事物是另一个事物的一种类型  
**AMO:** 表示一个事物是另一个事物的成员  
**ISA:** 表示一个事物是另一个事物的实例

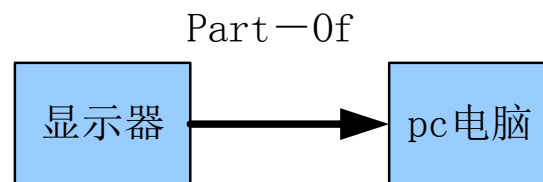
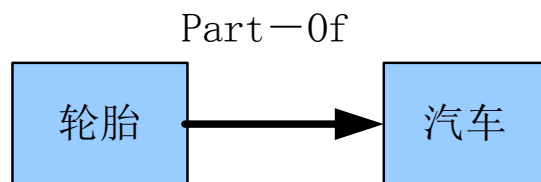


## 2.4 语义网络表示法

### 2.4.2 语义网络中常用的语义联系：

#### (2) 包含关系：

Part-of 链用来表示部分——全体关系，或说表示包含关系。  
特点是Part-of关系下各层结点的属性可能是很不相同的。



注：它和类属关系的区别

包含关系一般不具备属性的继承性。

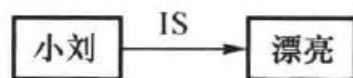
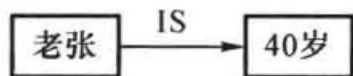


## 2.4 语义网络表示法

### 2.4.2 语义网络中常用的语义联系：

(3) 属性关系：

指事物和其属性之间的关系。



## 2.4 语义网络表示法

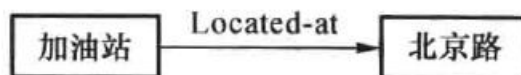
### 2.4.2 语义网络中常用的语义联系：

#### (4) 位置关系：

位置关系是指不同事物在位置方面的关系。

常用的位置关系：

Located-on:	一物在另一物之上
Located-at:	一物在何位置
Located-under:	一物在另一物之下
Located-inside:	一物在另一物之中
Located-outside:	一物在另一物之外



## 2.4 语义网络表示法

### 2.4.2 语义网络中常用的语义联系：

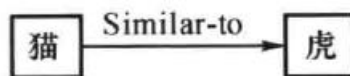
#### (5) 相近关系：

相近关系是指不同事物在形状、内容等方面相似和接近。

常用的相近关系：

Similar-to:      相似

Near-to:                  接近



## 2.4 语义网络表示法

### 2.4.2 语义网络中常用的语义联系：

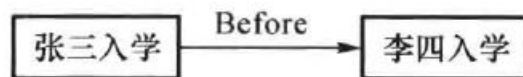
#### (6) 时间关系：

是指不同事件在其发生时间方面的先后关系。

常用的时间关系有：

Before：表示一个事件在一个事件之前发生

After：表示一个事件在一个事件之后发生。



## 2.4 语义网络表示法

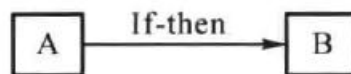
其它语义联系如下语义联系：

### 2.4.2 语义网络中常用的语义联系：

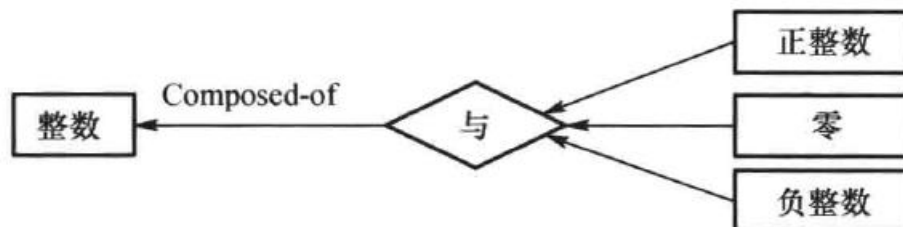
(7) 推论关系



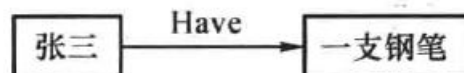
(8) 因果关系



(9) 组成关系



(10) 占有关系



### 2.4.3 语义网络表示知识的方法:

- 1、事实性知识的表示
- 2、情况和动作的表示
- 3、逻辑关系的表示
- 4、规则性知识的表示

# 1、事实性知识的表示

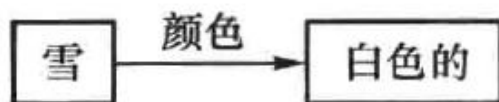


图 2.4 雪的语义网络

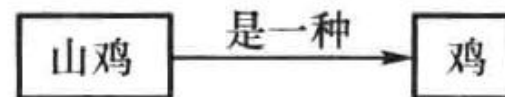


图 2.5 山鸡的语义网络



图 2.6 鸡的语义网络

## 2、情况和动作的表示

### (1) 情况的表示

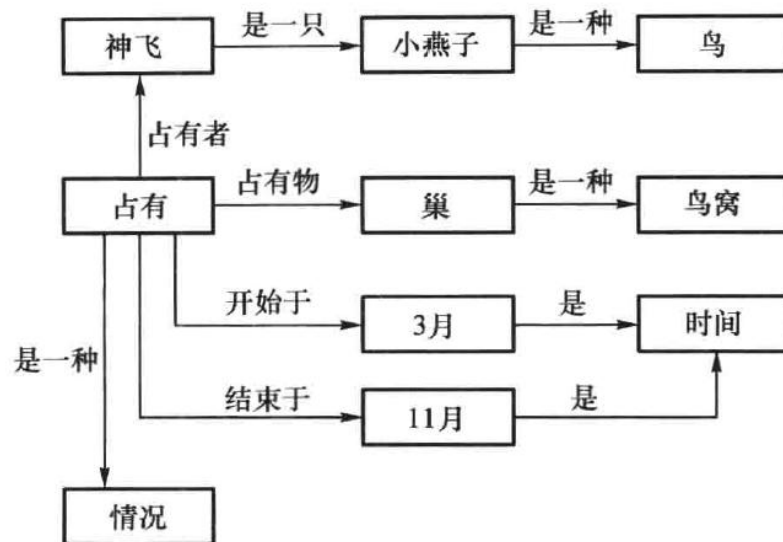


图 2.7 带有情况节点的“神飞”的语义网络

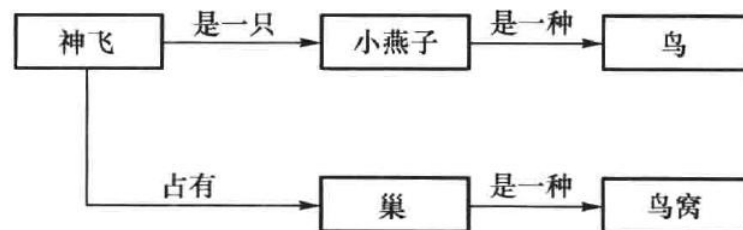


图 2.8 不带情况节点的“神飞”的语义网络



## 2、情况和动作的表示

### (2) 动作和事件的表示

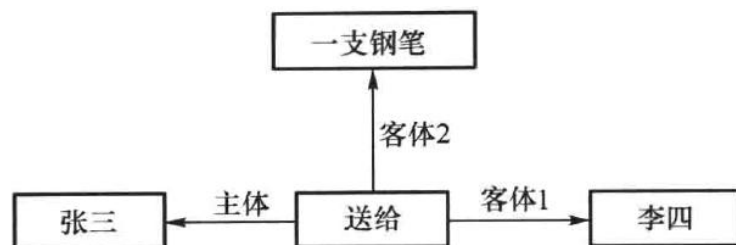


图 2.9 带有动作节点的语义网络

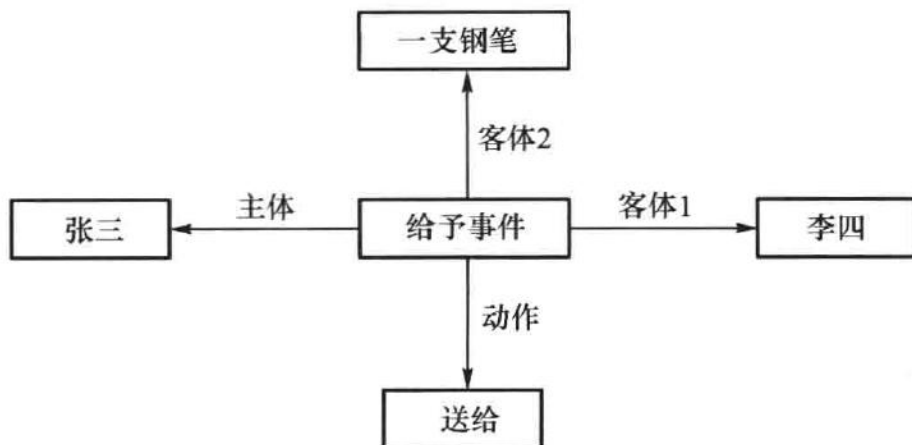


图 2.10 带有事件节点的语义网络

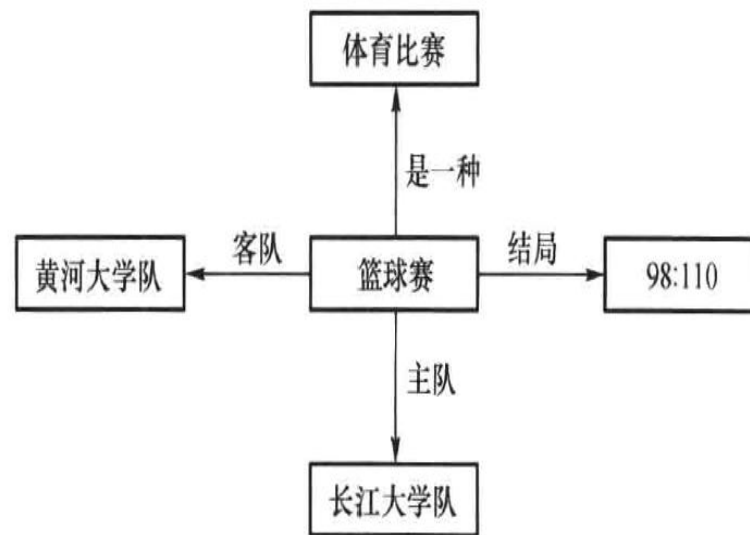


图 2.11 关于篮球赛的语义网络

### 3、逻辑关系的表示

#### (1) 合取与析取的表示

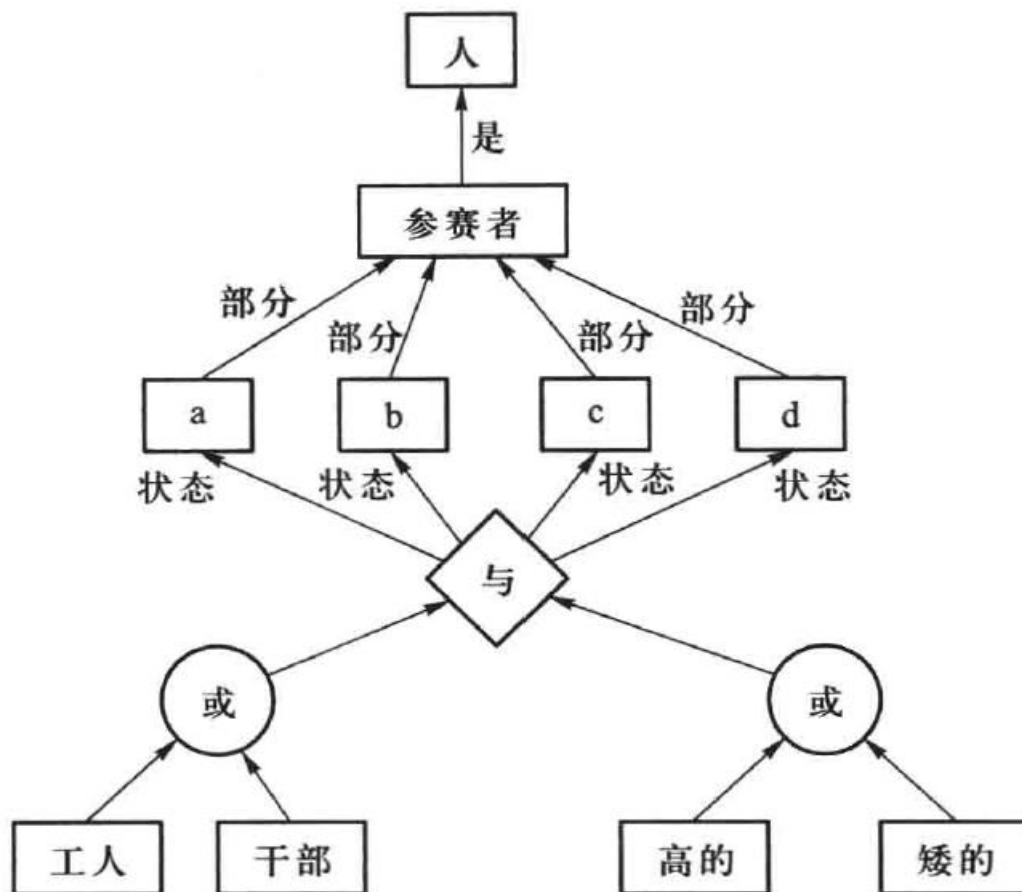


图 2.12 具有合取与析取关系的语义网络

## (2) 存在量词和全称量词的表示

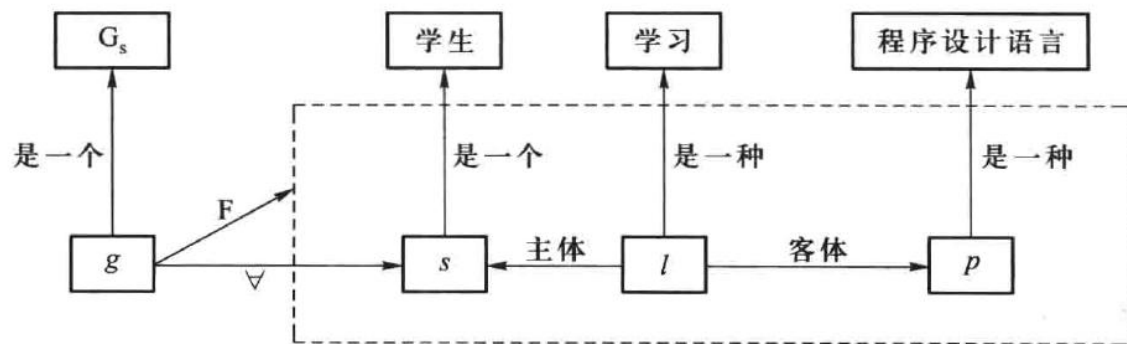


图 2.13 具有一个全称量词的语义网络

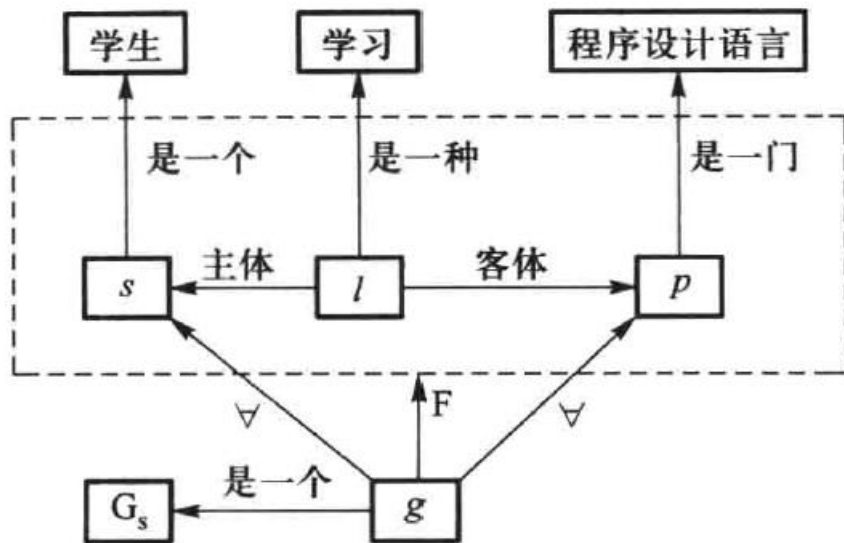


图 2.14 具有两个全称量词的语义网络

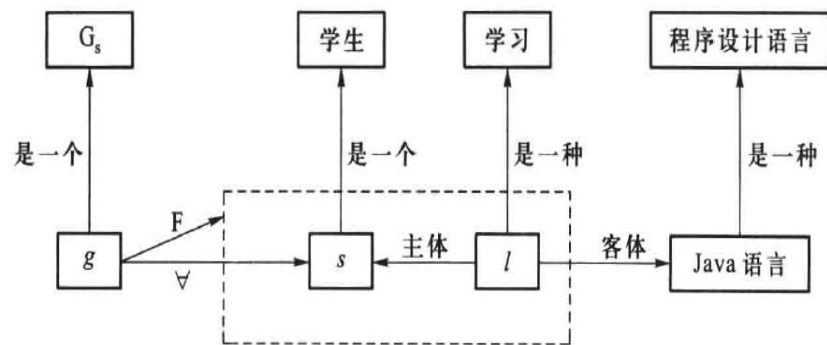


图 2.15 非全称变量节点不为全称变量函数的语义网络

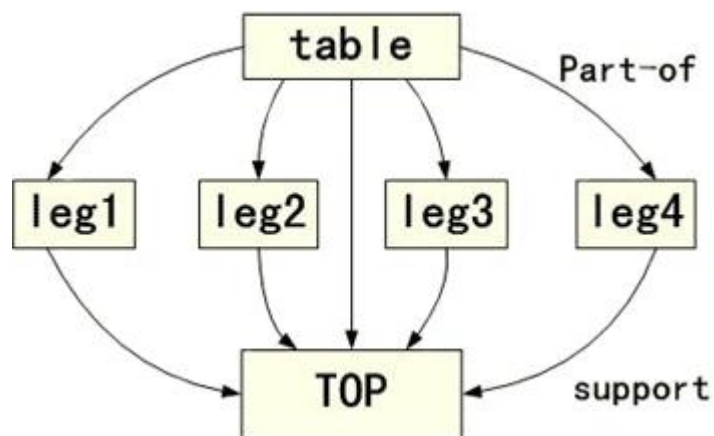
## 4、规则性知识的表示

$$A \xrightarrow{R_{AB}} B$$

## 2.4 语义网络表示法

### 2.4.5 语义网络表示知识的举例：

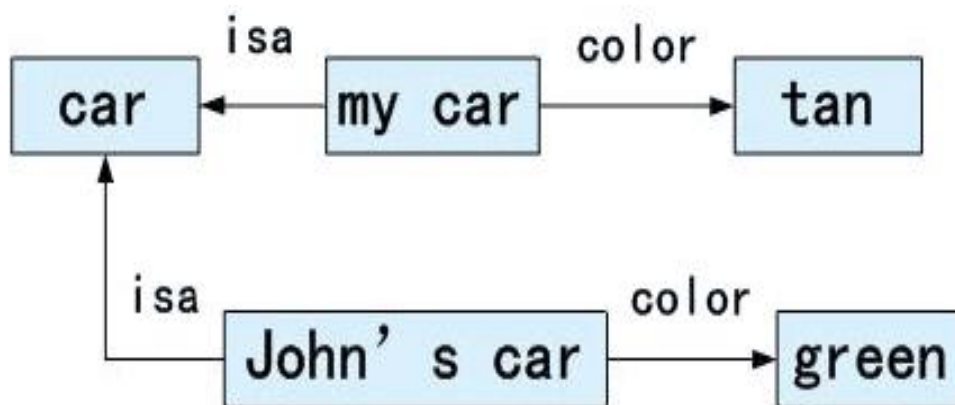
(1) 桌子由四条腿和桌面组成，桌面和腿是支撑关系。其语义网络表示为



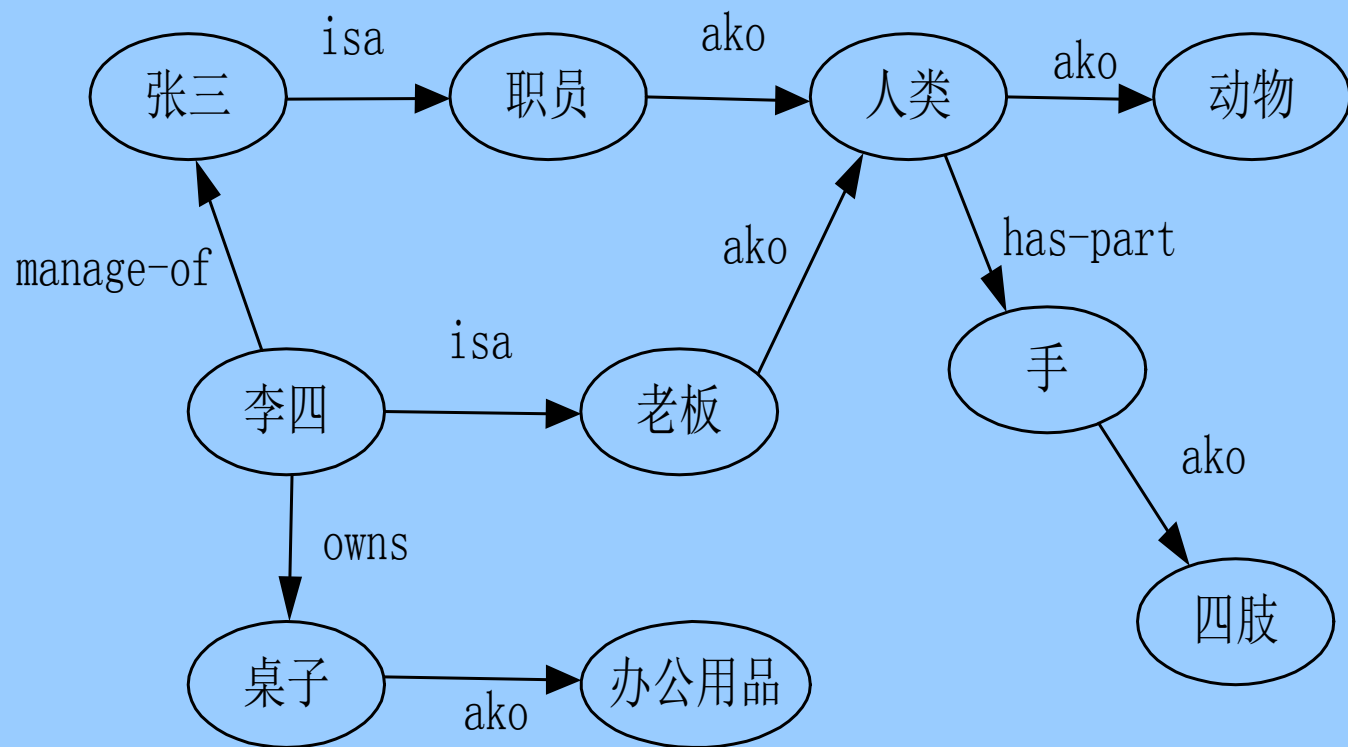
## 2.4 语义网络表示法

### 2.4.5 语义网络表示知识的举例：

(2) 我的车是棕黄色的，John 的车是绿色的。可表示为



其中结点“car” 是附加的，这样便于将单个网络连结起来。



## 2.4 语义网络表示法

### 2.4.6 语义网络表示下的推理过程：

语义网络中的推理过程中的两种：一种是匹配，另一种是继承。

(1) 匹配：结构上的匹配，包括结点和弧的匹配

(2) 继承：利用具有继承性质的语义联系建立一些并不一定显式存在于网络知识库中的网络结构；把事物的属性从具有类属关系的上层结点（概念结点）传递到下层结点（实例结点）。

值继承（属性继承）

过程继承（方法继承）



## 匹配 Ex

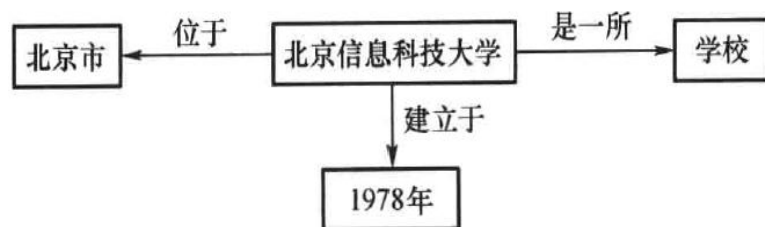


图 2.21 有关北京信息科技大学的语义网络

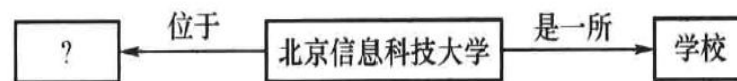


图 2.22 待求解问题的语义网络片段

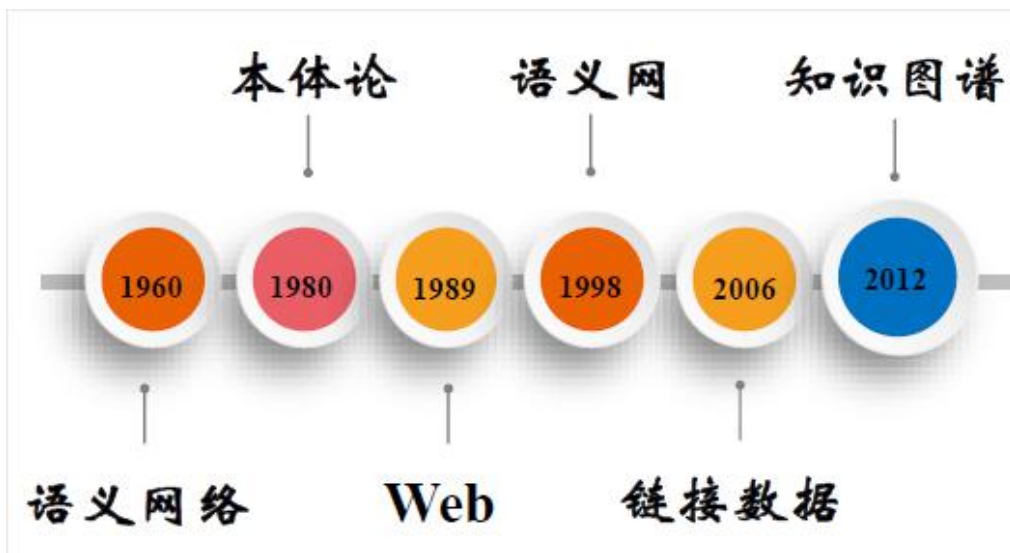
## 继承 Ex

值继承（属性继承）：

青砖是一种砖，砖的形状是长方体  $\Rightarrow$  青砖的形状是长方体

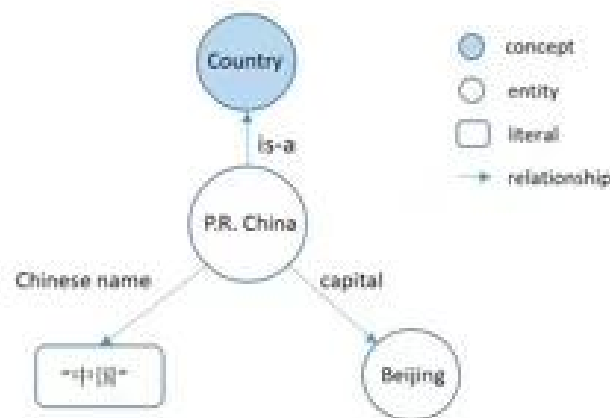
过程继承（方法继承）：

空心砖是一种砖，砖的质量是长\*高\*宽\*密度  $\Rightarrow$  空心砖的质量是长\*高\*宽\*密度



# 什么是知识图谱？

- 直观理解：知识图谱（Knowledge Graph）是以图模型的方式组织知识，每一条知识都以“点 - 边 - 点”的方式来组织，并且可以等价表达成“主-谓-宾”结构
  - 知识图谱的“图谱”不是“图像”，而是图模型
  - 知识图谱不仅仅关注知识如何用图表达，还需要关注图谱如何获取、融合、更新、推理等问题



<subject, predicate, object>

<P.R. China, is-a, Country>

<P.R. China, Chinese name, “中国”>

图模型：点和线组成的用以描述系统的图形



## 2.5 框架表示法

- 1975年 Minsky在论文中提出了框架理论。他认为人的知识以框架结构记存在人脑中。当人们面临新的情况，或对问题的看法有重要变化时，总是从自己的记忆中找出一个合适的框架，然后根据细节加以修改补充，从而形成对新观察到的事物的认识。
- 人类对于一件事的了解，表现在对于这件事物的诸方面，即属性的了解。掌握了事物的属性，也就有了关于事物的知识，知识表示是从属性描述开始的。

# 框架的形式

## 【框架名】

槽名A	侧面名A <sub>1</sub>	值A <sub>11</sub> , 值A <sub>12</sub> , 值A <sub>13</sub> ...
	侧面名A <sub>2</sub>	值A <sub>21</sub> , 值A <sub>22</sub> , 值A <sub>23</sub> ...
槽名B	侧面名B <sub>1</sub>	值B <sub>11</sub> , 值B <sub>12</sub> , 值B <sub>13</sub> ...
	侧面名B <sub>2</sub>	值B <sub>21</sub> , 值B <sub>22</sub> , 值B <sub>23</sub> ...
槽名C	侧面名C <sub>1</sub>	值C <sub>11</sub> , 值C <sub>12</sub> , 值C <sub>13</sub> ...
	侧面名C <sub>2</sub>	值C <sub>21</sub> , 值C <sub>22</sub> , 值C <sub>23</sub> ...

约束条件:

- 约束条件1
- 约束条件2
- 约束条件3

- 定义

- **框架**是一种描述所论对象属性的数据结构。  
是语义网络的一般化形式的一种结构。

- 表示形式:

- 由**框架名**、**槽名**、**侧面**、**值**组成

- 推理方法:

- 没有固定的推理机理。但和语义网络一样遵循匹配和继承的原理。

## 简单框架的例子：

Micheal

Gender: man

Profession: singer

Height: 185cm

Weight: 79kg

Age: 27

框架名: < 优质商品 >

商品名称:

生产厂家:

获奖情况:

获奖等级:

颁奖部门:

获奖时间: 单位(年,月,日)

- 框架之间的关系

框架也分为**类框架**和**实例框架**。



框架名：〈学校〉

类 属：〈教育机构〉

类 型：

范围：（大学，中学，小学）

位 置：（省（直辖市），市）

面 积：单位（平方米）

教工人数：

学生人数：

框架名：〈大学〉

类 属：〈学校〉

类 型：

范围：（综合性大学，专科性大学）

专 业：默认值：综合

学 院 数：

教 学 楼：

教工人数：

职工人数：

学生人数：

位 置：（省（直辖市），市）

面 积：单位（平方米）

框架名：<大学1>

类 属：<大学>

姓 名：武汉科技大学大学

学 院 数：13

教 学 楼：20

办 公 楼：40

学生宿舍：20

教工宿舍：60

教工人数：4000

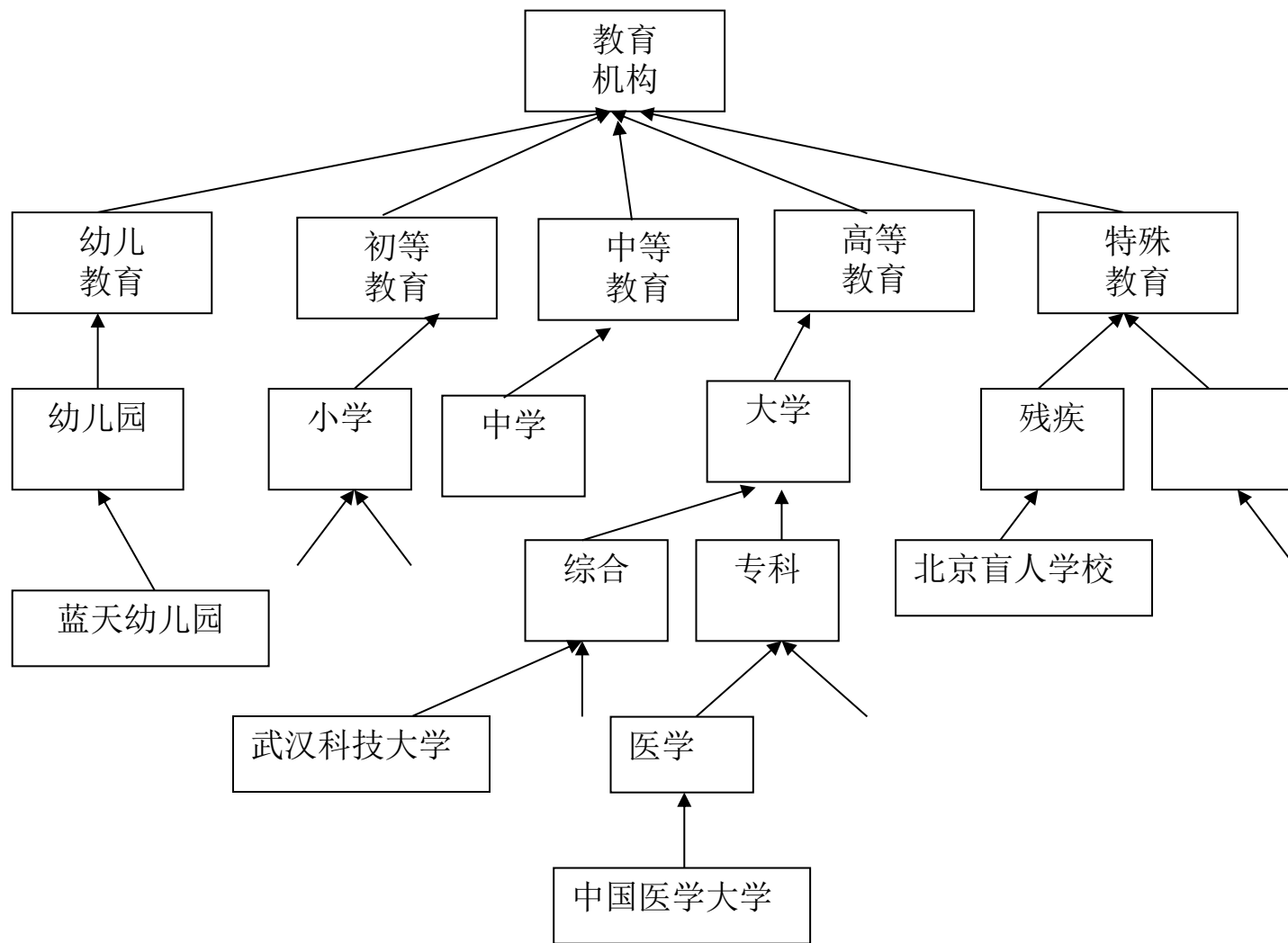
职工人数：5000

学生人数：20000

位 置：武汉市

面 积：10000（平方米）

创建时间：2002年4月



## 框架系统结构

例 2.13 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)

默认：男

职称：范围(教授,副教授,讲师,助教)

默认：讲师

部门：单位(系,教研室)

住址：<住址框架>

工资：<工资框架>

参加工作时间：单位(年,月)

男性,年龄在 35 岁以下,职称为讲师

框架名：教师- $x$

姓名：

年龄：<35>

性别：男

职称：讲师

框架名：<教师-1>

姓名：范怡伟

年龄：30

性别：男

职称：讲师

部门：计算机系软件教研室

住址：<住址框架-1>

工资：<工资框架-1>

参加工作时间：1996 年 10 月

框架名：<教师-2>

姓名：李连鹰

年龄：58

性别：男

职称：教授

部门：计算机系软件教研室

住址：<住址框架-1>

工资：<工资框架-1>

参加工作时间：1966 年 10 月

# 脚本表示法

- **脚本**就是一个用来描写人类某种活动的事件序列。
- **基本思想**：人类的日常行为可以表示为一个叙事体，这一叙事体可能由许多语句构成，句子意义的表达是以行为为中心的，但句子的行为不是由动词表示，而是由原语行为集来表示。
- **脚本可看作是框架的一种特殊形式**，特定范围内的一些事件的发生序列可以用一组槽来描述，利用槽之间的关系表述事件的发生的先后。

## 2.7 本章小结

知识与知识表示概述

谓词逻辑表示法

产生式表示法

语义网络表示法

框架表示法

知识表示法举例

**教材课后题目： 2.1、 2.2、 2.7、 2.9、 2.10**