

A cluster of colorful geometric shapes, including triangles and squares in shades of blue, yellow, green, and orange, arranged in a complex, overlapping pattern in the top-left corner.

# 知识表示

万永权

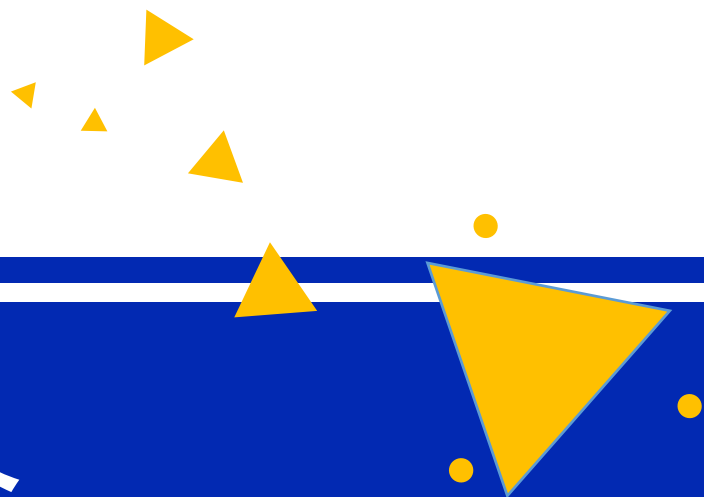
# 目录

## CONTENTS

1. 知识表示的基本概念
2. 谓词逻辑表示法
3. 产生式表示法与专家系统

# 本章学习目标

- ◆ 了解知识的定义、特性、分类。
- ◆ 了解知识表示方法的分类。
- ◆ 了解谓词逻辑表示法
- ◆ 了解知识的产生式表示法。

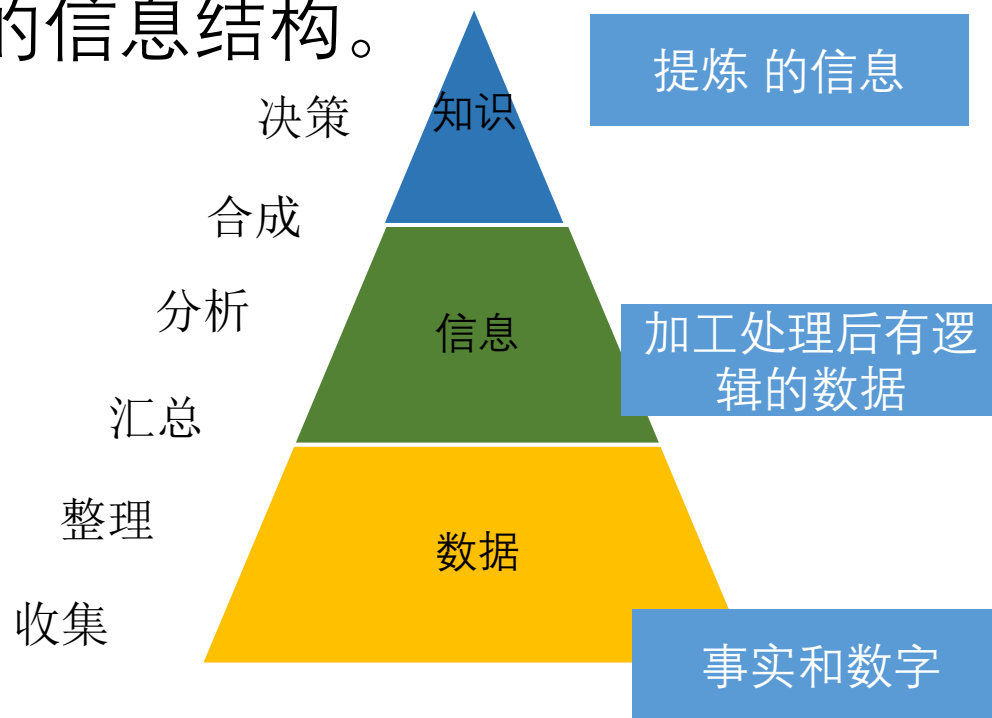


# 知识的基本概念

# 数据——信息——知识

- ◆数据：未经加工的事实和数字,是信息的载体。
- ◆信息：对数据的解释，是数据在特定场合下的具体含义。
- ◆知识：把有关信息关联在一起形成的信息结构。

12度  
今天上海温度12度  
上海冬季平均气温4-12度



# 知识的定义

至今，对于知识还没有一个统一而明确的界定。比较有代表性的定义如下：

- (1) 费根鲍姆 (Feigenbaum) 说：知识是经过裁剪、塑造、解释、选择和转换了的信息。
- (2) 伯恩斯坦 (Bernstein) 说：知识由特定领域的描述、关系和过程组成。
- (3) 海叶斯—罗斯 (Heyes-Roth) 说：知识=事实+信念+启发式。

总之，**知识**是人类在长期的生活、社会实践及科学实验中经过总结、提升与凝练的对客观世界（包括人类自身）的认识和经验，也包括对事实和信息的描述或在教育和实践中获得的技能。

# 知识的特性

$1+1 = 2$  ?

$1+1 = 10$  ?

## ◆ 相对正确性

- 任何知识都是在一定的条件下产生的，在此条件下才是正确的

## ◆ 不确定性

- 随机性引起的不确定性
- 模糊性引起的不确定性

“如果发热且咳嗽，则有可能患新冠”

小明很帅

## ◆ 可表示性

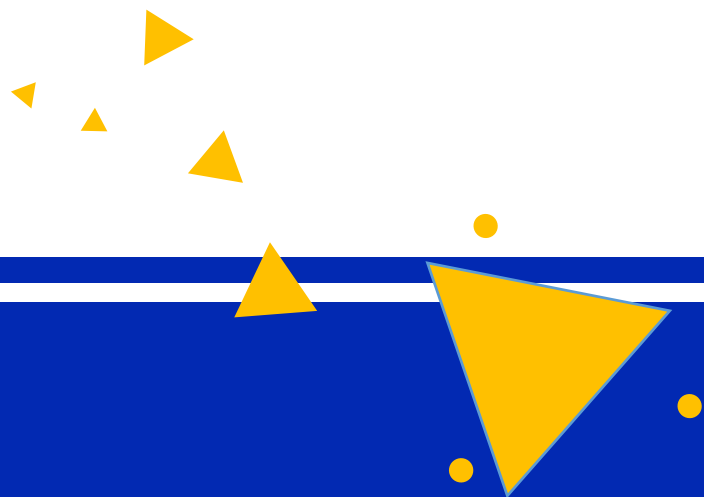
- 知识可以用适当的形式表现出来：如用语言、文字、图形等

## 2.1.3 知识的分类

按知识的作用，可大致分为两类：

- ◆ (1) **陈述性知识** (descriptive knowledge, 或描述性知识)，是表示对象及概念的特征及其相互关系的知识，以及问题求解状况的知识，它描述的是“**做什么**”的知识，即一般性事实，故也称为**事实性知识**。
  - 如：“煤是黑色的”，“北京是中国的首都”。
  - 事实性知识是**显式**表示的，用符号代表概念、命题与原理，是相对**静态**的。
- ◆ (2) **过程性知识** (procedural knowledge, 或程序性知识) 表示的是问题求解控制策略，描述的是“**如何做**”的知识，即做某件事的过程。
  - 过程性知识一般利用算法进行描述，**用一段计算机程序来实现**。
  - 过程性知识是**隐含在程序中的**，是相对**动态**的。





# 知识表示

# 知识表示

- ◆ **知识表示** (knowledge representation) 就是对知识的描述，即用一些约定的符号把知识编码成一组能被计算机接受并便于系统使用的数据结构。
- ◆ 常用的知识表示方法有一阶谓词表示法、产生式表示法、语义网络表示法、框架表示法、过程表示法、脚本表示法、本体表示法等。
- ◆ 从知识的运用角度，可将**知识表示方法**粗略地**分为两大类**：
  - **陈述性知识表示**
  - **过程性知识表示**

# 陈述性知识表示

- ◆ **陈述性知识表示**用于描述陈述性知识，即**描述“是什么”，而不用描述“怎么做”**。
- ◆ 该方法注重对事物有关知识的**静态描述**，强调事物所涉及的对象是什么，关注于事物的属性及其相互关系，涉及的知识细节少，抽象程度高。
- ◆ 该方法是对知识的一种**显式表达**形式，对于知识的使用和推理，则是通过控制策略或推理机制来决定的。
- ◆ 在采用陈述性知识表示方法描述知识的系统中，**知识的表示和知识的运用一般是分开的**。
- ◆ **优点：**
  - **可理解性好**，表示形式简洁、清晰、易懂；
  - **易于修改**，一个小的改变不会影响全局，不会引起大的改变；
  - **可独立使用**，这种知识表示出来后，可用于不同目的；
  - **易于扩充**，这种知识模块性好，扩充后对原有模块没有影响。
- ◆ **缺点：**将知识与控制分开，求解问题的**执行效率低**。

# 过程性知识表示

- ◆ **过程**就是事实的一些客观规律。
- ◆ **过程性知识表示方法**表达的是如何求解问题，**知识的表示形式就是程序**。
- ◆ 在过程性知识表示方法中，既要描述**表示事物客观规律**的知识，还要描述表示控制规则和控制结构的知识，告诉计算机“**怎么做**”。
- ◆ 该方法着重于描述知识的**动态过程**，将求解问题的主要步骤表示为若干个过程，每一个过程就是一段程序，是对知识的一种**隐式表达**形式。
- ◆ **知识的表示**和**知识的运用一般是不分开的**，表示就寓于运用之中，它适合于知识表示与求解结合非常紧密的这一类问题。

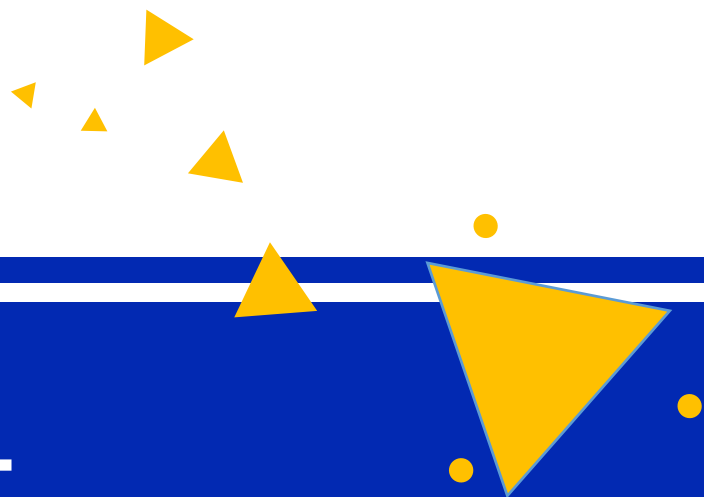
# 过程性知识表示

## ◆ **优点：** 执行效率高。

知识是用程序表示的，**知识库与推理机**完全合为一体，即知识与控制融合在一起。

## ◆ **缺点：**

- **可理解性较差**，采用隐式表达形式，形式复杂、不直观，不易理解；
- **不易于扩充**，这种知识模块性差，难以添加新知识和扩充新的功能；
- **不易于修改**，想要修改现有知识而不影响其他知识的完整性，比较困难，容易出错。



# 谓词逻辑表示法



## 二、谓词逻辑表示法

### 1. 基本概念

- ◆ **论域**：所有讨论对象的全体构成的非空集合。
- ◆ **个体**：论域中的元素。
- ◆ **命题**：具有真假意义的断言。
- ◆ **命题的真值**： $T$ ：表示命题的意义为真。 $F$ ：表示命题的意义为假。
- ◆ **命题真值的说明**：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

# 命题

- ◆ 命题 (proposition) 是一个非真即假的陈述句。
  - 若命题的意义为真，则称它的真值为真，记作  $T(\text{True})$ 。
  - 若命题的意义为假，则称它的真值为假，记作  $F(\text{False})$ 。
  - 一个命题不能同时既为真又为假，但可以在一种条件下为真，在另一种条件下为假。
- ◆ 判断是否命题的标准：
  1. 陈述句
  2. 客观上存在唯一真值



## 例：判断下列句子是否为命题：

1. 北京是中华人民共和国首都。

是，真命题

2.  $1+1=2$ 。

是，真命题

3. 太阳从西边升起。

是，假命题

4.  $x > 0$

不是，无确定真值

5. 今天是星期二。

是，真值视情况定

6. 上课请不要使用手机。

不是，祈使句

7. 小明真帅！

不是，感叹句

# 谓词逻辑表示法

- ◆ 谓词逻辑是一种形式语言，接近自然语言，又方便计算机处理。
- ◆ 例：
  - 李白是诗人；  $P$
  - 杜甫是诗人；  $Q$
- ◆ 两句话的谓语具有共同属性：“是诗人”。引入一个符号  $M$  表示“是诗人”，再引入一个方法表示个体的名称，就能把“某某是诗人”这个命题的本质属性刻画出来。

# 谓词

- ◆ 谓词(predicate)逻辑是基于命题中谓词分析的一种逻辑。一个谓词可分为谓词名与个体两个部分。
- ◆ **个体**是命题的主语，表示独立存在的事务或概念。
  - 例如，电子计算机，实数，唯物主义，油菜花等等。
- ◆ **谓词**用于刻画个体的性质、状态或个体间的关系。
  - 如“苹果”是一个个体词，“苹果可以吃”是一个原子命题，“可以吃”是谓词，刻画“苹果”的一个性质，即与动物或人的一个关系。

# 谓词逻辑

**定义** 设 $D$ 是论域,  $P: D^n \rightarrow \{T, F\}$  是一个映射, 其中 $D^n = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) | x_1, x_2, \dots, x_n \in D\}$ , 则称 $P$ 是一个 $n$ 元**谓词** ( $n = 1, 2, \dots$ ), 记为 $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , 其中,  $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为个体变元。

## ◆ 谓词与函数的区别:

谓词是 $D$ 到 $\{T, F\}$ 的映射,

`is_woman(Mary)`

函数是 $D$ 到 $D$ 的映射;

`is_mother_of(Lisa, Marge)`

谓词的真值是 $T$ 和 $F$ , 函数的值 (无真值) 是 $D$ 中的元素;

`motherOf(Bary) → Mary`

谓词可独立存在, 函数只能作为谓词的个体。

# 谓词

- ◆ 用谓词逻辑表示的命题的一般表现形式：
- ◆ 谓词：  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ，其中  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  表示多个个体。
- ◆  $P(x)$  称为一元谓词， $P(x, y)$  称为二元谓词，依次类推；
  - 例：李白是诗人；
  - 杜甫是诗人；
  - 解：定义谓词  $S(x)$  表示  $x$  是诗人，则  $S(\text{李白})$ ， $S(\text{杜甫})$ 。

# 语法元素

◆ 个体是**常量**：一个或一组指定的个体

例：

1. 老张是一个教师：T (Zhang)
2.  $5 > 3$ ：二元谓词 G (5, 3)

◆ 个体是**变元**：没有指定的一个或一组个体，只有把个体赋值后才能判断真假

例：

1.  $x < 5$ ：LESS (x, 5)

◆ 个体是**函数**：一个个体到另一个个体的映射

例：

1. 小李的父亲是教师：T ( f(Li) )

# 连接词

- ◆  $\neg$  : 称为“否定”(Negation)或者“非”。它表示否定位于它后面的命题。
- ◆  $\wedge$  : 称为“合取”(Conjunction)。它表示它连接的两个命题具有“与”关系。
- ◆  $\vee$  : 称“析取”(Disjunction)。它表示被它连接的两个命题具有“或”关系。
- ◆  $\rightarrow$  : 称为“蕴涵”(Implication)或者“条件”(Condition)。 $P \rightarrow Q$ 表示“P蕴涵Q”, 即表示“如果P, 则Q”。其中, P称为条件的前件, Q称为条件的后件。
- ◆  $\leftrightarrow$  : 称为“等价”(Equivalence)或“双条件”(Bicondition)。 $P \leftrightarrow Q$ 表示“P当且仅当Q”。



### ◆谓词真值表：


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

### ◆量词

$\forall$  ： 全称量词，意思是“所有的”、“任一个”

$\exists$  ： 存在量词，意思是“至少有一个”、“存在有”

### ◆联结词的优先级

从高到低依次为： $\neg, \wedge, \vee, \rightarrow$ , 



# 量词

◆ 全称量词 $\forall x$ ：对个体域中的所有（任意一个）个体 $x$

“所有的机器人都是灰色的”：

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

◆ 存在量词 $\exists x$ ：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出现在同一个命题中时,出现顺序会影响命题的意思。

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

“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。”

# 例:

$P$  : 老李是小李的父亲;  $\neg P$ : 老李不是小李的父亲

$P$ : 小明喜欢打篮球  
 $Q$ : 小明喜欢踢足球  
 $P \vee Q$

$P$ : 小明喜欢电影  
 $Q$ : 小明喜欢汽车  
 $P \wedge Q$

$P$ : 小明第一个跑过终点,  $Q$ : 他取得冠军。  
 $P \rightarrow Q$

小明心情愉快就唱歌; 当他唱歌时, 一定心情愉快。  
 $P$ : 小明心情愉快;  $Q$ : 小明唱歌  
 $P \leftrightarrow Q$



## 谓词逻辑表示法

谓词逻辑表示法是一种基于数理逻辑的知识表示方法，人工智能所用的逻辑包括一阶经典逻辑和除此以外的非经典逻辑。这里所提到的谓词逻辑就是一阶经典逻辑。谓词逻辑表示法不仅可以用来表示事物的状态、属性、概念等事实性知识，还能表示事物的因果关系。

# 谓词逻辑表示知识的步骤

- 步骤1：根据要表示的知识先定义谓词及个体，确定每个谓词及个体的确切定义。
- 步骤2：根据语义用适当的连接词、量词将各个谓词连接起来，形成合式公式。
- ◆ 例： 张三是学生， 李四也是学生
- ◆ 解：
  - 定义谓词：  $S(x)$ ,
  - 个体： 张三、李四
  - 符号化：  $S(\text{张三}) \wedge S(\text{李四})$

# 合式公式 (Well-formed formulas, WFF)

◆ 用归纳法给出谓词合式公式定义：

1. 单个谓词是合式公式，也称为原子谓词公式；
2. 若 $P$ 是合式公式，则 $\neg P$ 也是合式公式。
3. 若 $P, Q$ 是合式公式，则 $P \vee Q, P \wedge Q, P \rightarrow Q, P \leftrightarrow Q$ 也是合式公式。
4. 若 $A$ 是合式公式，则 $\forall_x (A)$  和  $\exists_x (A)$  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。

◆ 合式公式的概念：由谓词符号、常量符号、变量符号、函数符号以及括号、逗号等按一定语法规则组成的字符串表达式。

◆ 在合式公式中，连接词的优先级别从高到低排列后如下： $\neg \wedge \vee \rightarrow \leftrightarrow$

# 谓词逻辑表示法

- 例：所有实数的平方都是非负的。
- 解：
- 个体：每一个实数，以 $x$ 代表
- 函数符号： $x$ 的平方，以 $f(x)$ 表示
- 谓词： $x$ 是非负的，以 $Q(x)$ 表示
- 符号化： $(\forall x)Q(f(x))$

$x$ 可以代表不同的个体，称为**个体变元（变量）**；

相对地 $\pi$ 等称为**个体常元（常量）**

- 另解：
- **个体：每一个数：以 $z$ 代表**
- 谓词： $x$ 是一个实数，以 $R(x)$ 表示
- 函数符号： $x$ 的平方：以 $f(x)$ 表示
- 谓词： $x$ 是非负的：以 $Q(x)$ 表示
- 符号化： $(\forall z)[R(z) \rightarrow Q(f(z))]$

个体变元 $x$ 和 $z$ 的取值范围不同。

个体变元的取值范围称为它的**论域（个体域）**。

# 练习：

## ◆ 用谓词公式表示以下知识：

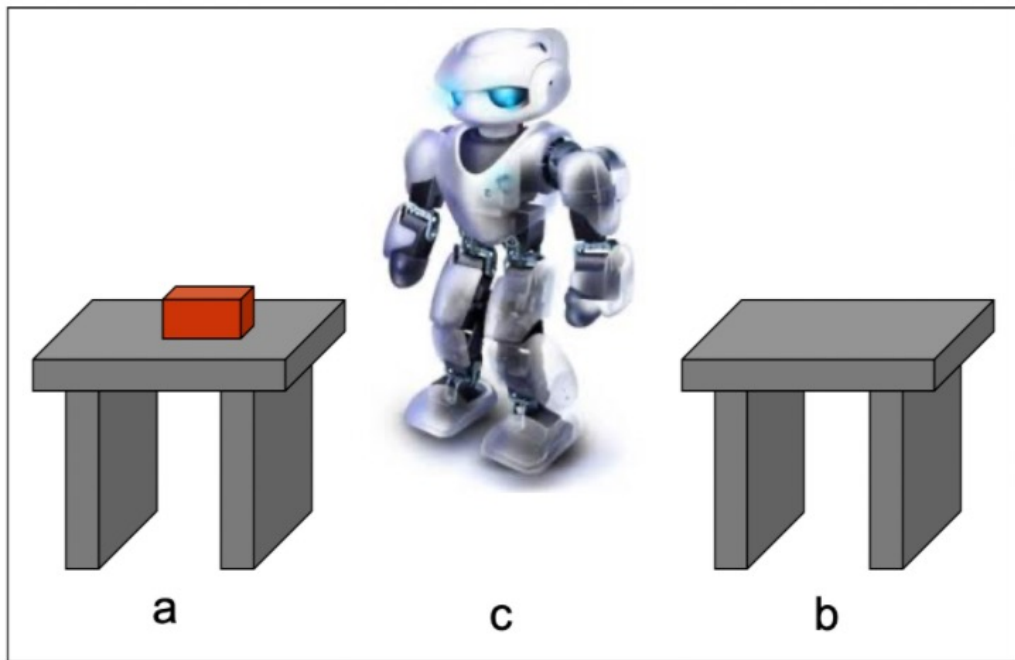
1. 张三是一名计算系的学生，他不喜欢编程序。
2. 李四比他父亲长得高。
3. 小明即聪明而且认真学习。
4. 只要天不下雨，我就骑自行车上班。

1.  $CS(张三) \wedge \neg LikeCoding(张三)$
2.  $Taller(李四, Father(李四))$
3.  $Smart(小明) \wedge Study(小明)$
4.  $\neg Rain \rightarrow Bike(我)$



# 机器人搬箱子

设在房内C处有一机器人，在A及B处各有一张桌子，A桌上有一个盒子，为了让机器人从C处出发把盒子从A处拿到B的桌上，然后再回到C处，需要制定相应的行动规划，现在用一阶谓词逻辑来描述机器人的行动过程



波士顿动力机器人搬箱子



# 解

## ◆ 1. 谓词定义

TABLE(x): x是桌子

EMPTY(y): y手中是空的

AT(y, z): y在z附近

HOLDS(y, w): y拿着w

ON(w, x): w在x的上面

## ◆ 2. 域

➤ x的个体域是{a, b}

➤ y的个体域是{robot}

➤ z的个体域是{a, b, c}

➤ w的个体域是{box}

# 解

## ◆ 3. 状态

初始状态

AT(robot, c)

EMPTY(robot)

ON(box, a)

TABLE(a)

TABLE(b)

目标状态

AT(robot, c)

EMPTY(robot)

ON(box, b)

TABLE(a)

TABLE(b)

- 机器人行动的目标把问题的初始状态转换为目标状态，而要实现问题状态的转换需要完成一系列的操作。

# 解

## ◆4. 描述操作的谓词

**条件部分：**用来说明执行该操作必须具备的先决条件，  
可用谓词公式来表示。

**动作部分：**给出了该操作对问题状态的改变情况，通  
过在执行该操作前的问题状态中删去和增  
加相应的谓词来实现。

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



- 各操作的条件和动作：

GOTO(x, y)

条件：AT(robot, x)

动作：删除表：AT(robot, x)

添加表：AT(robot, y)

PICKUP(x)

条件：ON(box, x), TABLE(x), AT(robot, x),

EMPTY(robot)

动作：删除表：EMPTY(robot), ON(box, x)

添加表：HOLDS(robot, box)



- SETDOWN(x)

条件: AT(robot, x), TABLE(x),

HOLD(robot, box)

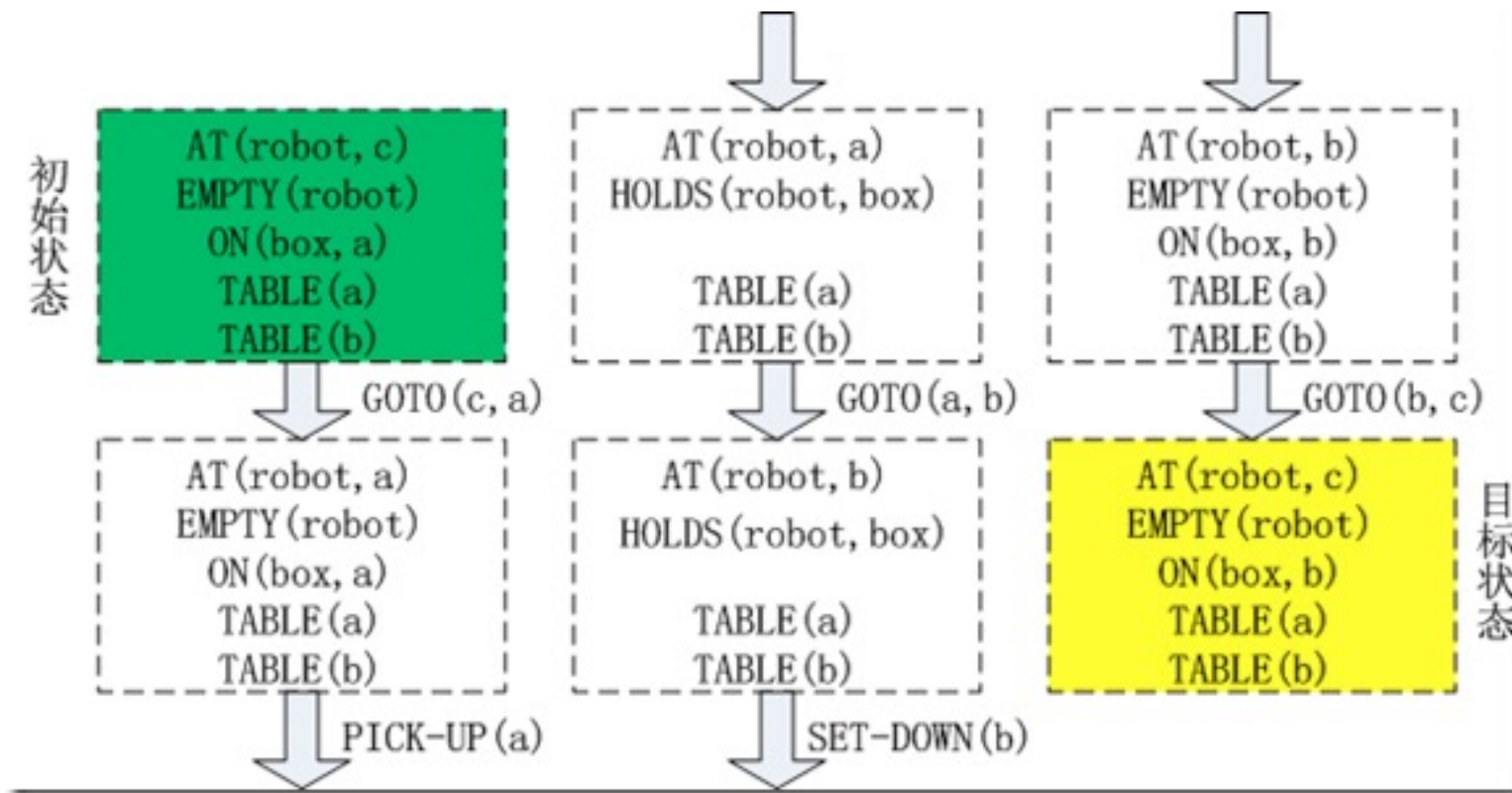
动作: 删除表: HOLD(robot, box)

添加表: EMPTY(robot), ON(box, x)

- 机器人每执行一操作前, 都要检查该操作的先决条件是否可以满足。如果满足, 就执行相应的操作; 否则再检查下一个操作。

# 行动规划

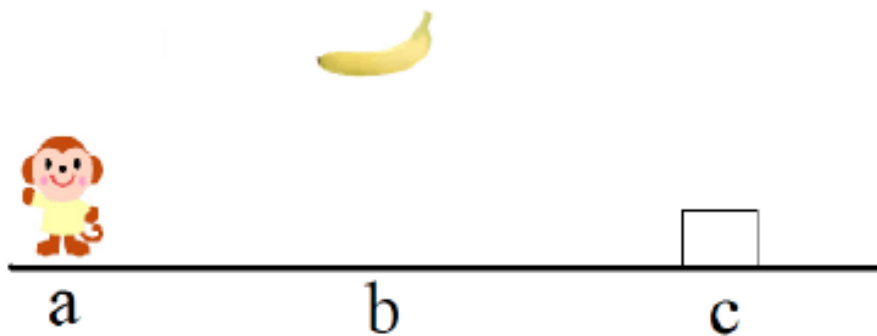
## ◆ 该机器人的行动规划求解过程：

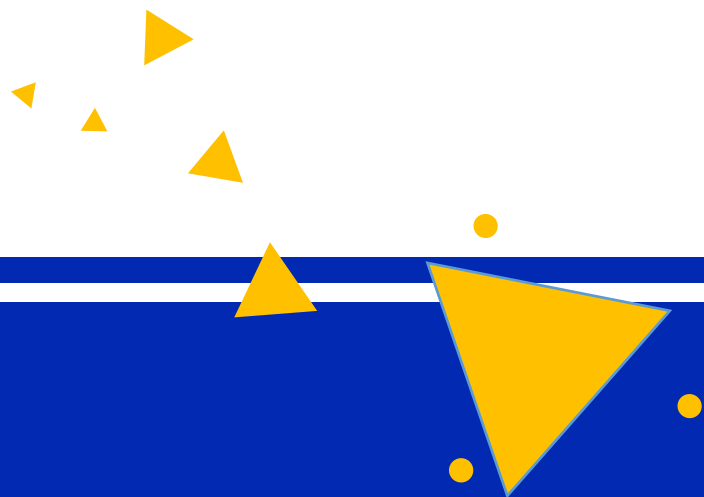


# 思考题：猴子摘香蕉

◆ 房内有一个猴子，一个箱子，天花板挂了一串香蕉，其位置如图所示。猴子为了拿到香蕉，它必须把箱子搬到香蕉下面，然后再爬到箱子上。

- 请定义必要的谓词，
- 列出问题的初始化状态（即下图所示状态），
- 目标状态（猴子拿到了香蕉，站在箱子上，箱子位于位置b）
- 给出从初始状态到目标状态的过程；





# 产生式表示法

03



# 产生式表示法

- ◆ 产生式表示法也称为基于规则的知识表示, 1943年由美国数学家Post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 产生式规则表示法

- ◆ “**产生式** (production)”意思是能够根据已知条件产生新知识的式子。
- ◆ 这些式子往往以规则的形式描述知识，因此**产生式**也称作“**产生式规则**”；
- ◆ **产生式表示法**也称为**产生式规则表示法**。
- ◆ 它属于**符号主义流派**的知识表示方法。
- ◆ 1960s-1970s，产生式表示法是使用最广泛的一种主流知识表示方法，尤其是在许多成功的专家系统中。例如，DENDRAL系统，MYCIN系统，PROSPECTOR系统。
- ◆ 随后，产生式表示法被应用于**形式语言学**、计算语言学中的**句法分析器**、

## 2.3.1 产生式

- ◆ **产生式**又称为**规则**或**产生式规则**。
- ◆ 产生式表示方法通常用于表示**事实**、**规则**以及它们的**不确定性度量**。
- ◆ 既有利于表示**陈述性知识**，又有利于表示**过程性知识**。
- ◆ 产生式表示包括**事实的表示**和**规则的表示**。
- ◆ 有许多知识本身就是事实描述性的，**事实**可看成是一个对象的某属性的值或是多个对象之间关系的陈述句。对象的某属性值或对象之间的关系可以是一个词，不一定是数字。
- ◆ 事实又分为**确定性事实**和**不确定性事实**。

# 事实的产生式表示

- ◆ 确定性事实一般采用三元组表示，有两种形式：
- ◆ 表示属性型确定性知识：
  - 三元组（对象，属性， 值）
  - 例： 小明年龄是20岁（Ming， Age， 20）
- ◆ 表示关系型确定性事实：描述两个对象之间的关系，形式为  
（对象1， 对象2， 关系）
  - ◆ 如，“李丽和王军是朋友”表示为（李丽， 王军， 朋友）， 此处，  
关系就是一个词， 而不是数字。

# 事实的产生式表示

## ◆ 表示不确定性知识：

不确定性事实可以用一个不确定度量值  $(0, 1)$  表示其不确定程度，即置信度或可信度，一般采用四元组表示，也有两种形式：

## ◆ 属性型不确定性事实：描述一个对象的某种属性，形式为

(对象, 属性, 值, 置信度)

◆ 例如“李丽的年龄很可能是30岁”表示为 (李丽, 年龄, 30, 0.85)，其中置信度0.85表示“很可能”。

## ◆ 关系型不确定性事实：描述两个对象之间的关系，形式为

(对象1, 对象2, 关系, 置信度)

◆ 例如“李丽和王军不太可能是朋友”表示为 (李丽, 王军, 朋友, 0.15)，此处的置信度0.15表示“不太可能”

# 规则的产生式表示

- ◆ 除了描述**事实**，产生式还可以描述**规则**。
- ◆ 规则用于表示有关问题领域中事物之间的**因果关系**，在产生式表示法中**将规则作为知识的单位**。
- ◆ 在人类的认知中，很多知识单元之间都存在着因果关系，这些因果关系可以转化为前提和结论，非常便于用产生式表示。
- ◆ 规则可分为**确定性规则**和**不确定性规则**。

# 规则的产生式表示

## (1) 确定性规则的产生式表示

- ◆ 确定性规则的产生式表示的基本形式是

IF condition THEN action 或者  $\text{condition} \rightarrow \text{action}$

其中condition称为**条件**或**前件**或**前提**，action 称为**动作**或**后件**或**结论**。

- ◆ 语义含义是：如果condition所表示的条件被满足，则可得到action所表示的结论或者执行action所表示的动作，即action是由condition来触发的。

- ◆ 例如，有如下规则：

- IF (天下雨 $\wedge$ 外出) THEN (带伞  $\vee$  带雨衣)。
- 小刚很聪明 $\wedge$ 小刚学习很勤奋 $\rightarrow$ 小刚的学习成绩很好；
- 小刚的学习成绩很好 $\rightarrow$ 小刚被重点大学录取。

# 规则的产生式表示

## (2) 不确定性规则的产生式表示

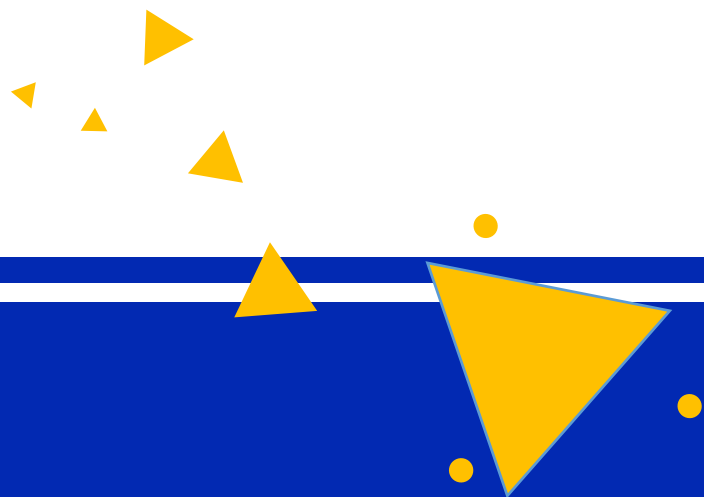
- ◆ 若规则是不确定的，则需增加置信度的度量值。不确定性规则的产生式表示的基本形式是

IF condition THEN action （置信度）

或者 condition  $\rightarrow$  action （置信度）

例如，有一条产生式为： 发烧呕吐  $\wedge$  出现黄疸  $\rightarrow$  肝炎（0.7）

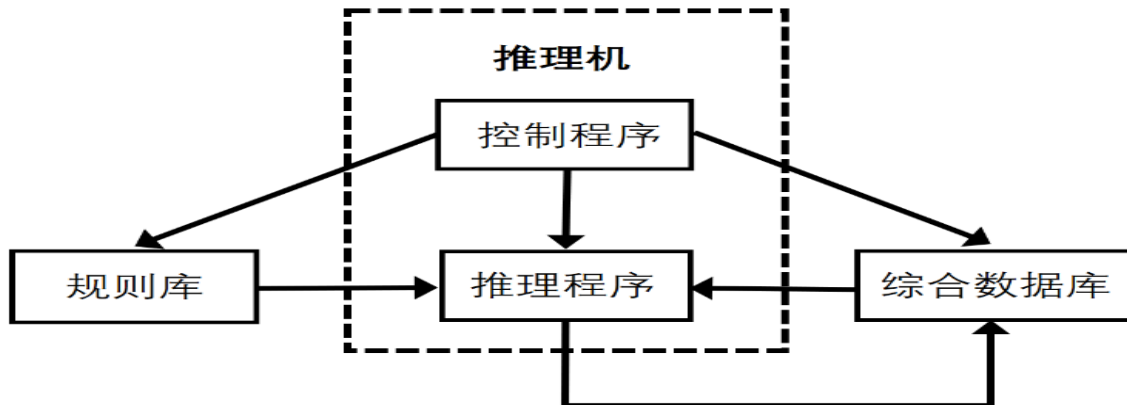




# 产生式系统

# 产生式系统

- ◆ 一个产生式系统的基本结构由**规则库** (production rules base)、**综合数据库** (global database) 和**控制系统** (control system) 三部分组成。
- ◆ **综合数据库**和**规则库**共同组成了**知识库**。
- ◆ **控制系统**又称为**推理机**，包括**控制程序**和**推理程序**两部分。



# 产生式系统

## ◆ 1. 综合数据库

- 综合数据库又称为**事实库**，是产生式系统所使用的主要数据结构，其中存放问题的初始状态、输入的已知事实、推理过程中得到的中间结果及最终结论等信息。

## ◆ 2. 规则库

- 产生式规则用于描述与所求解问题相关的领域知识，规则库就是所有这些**产生式规则的集合**，其中包含了将问题从初始状态转换成目标状态所需的所有规则。

## ◆ 3. 推理机

- 推理机是一组**规则解释程序**，包括**控制策略**和**推理方式**。推理机协同规则库与综合数据库，控制问题求解过程的推理路线，负责整个产生式系统的运行，实现对问题的求解。

# 产生式系统

## ◆ 控制系统的工作：

- (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。

### 例如，推理过程：

小刚很聪明  $\wedge$  小刚学习很勤奋  $\rightarrow$  小刚的学习成绩很好；  
小刚的学习成绩很好  $\wedge$  发挥正常  $\rightarrow$  小刚被重点大学录取

# 产生式表示法应用举例

## 动物识别系统

该系统可以识别老虎、金钱豹、斑马、长颈鹿、企鹅、信天翁这6种动物。其规则库包含如下15条规则：

r1: IF 该动物有毛发 THEN 该动物是哺乳动物

r2: IF 该动物有奶 THEN 该动物是哺乳动物

r3: IF 该动物有羽毛 THEN 该动物是鸟

r4: IF 该动物会飞 AND 会下蛋 THEN 该动物是鸟

r5: IF 该动物吃肉 THEN 该动物是食肉动物



- r6: IF 该动物有犬齿 AND 有爪 AND 眼盯前方  
THEN 该动物是食肉动物
- r7: IF 该动物是哺乳动物 AND 有蹄  
THEN 该动物是有蹄类动物
- r8: IF 该动物是哺乳动物 AND 是嚼反刍动物  
THEN 该动物是有蹄类动物
- r9: 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
- r10: 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

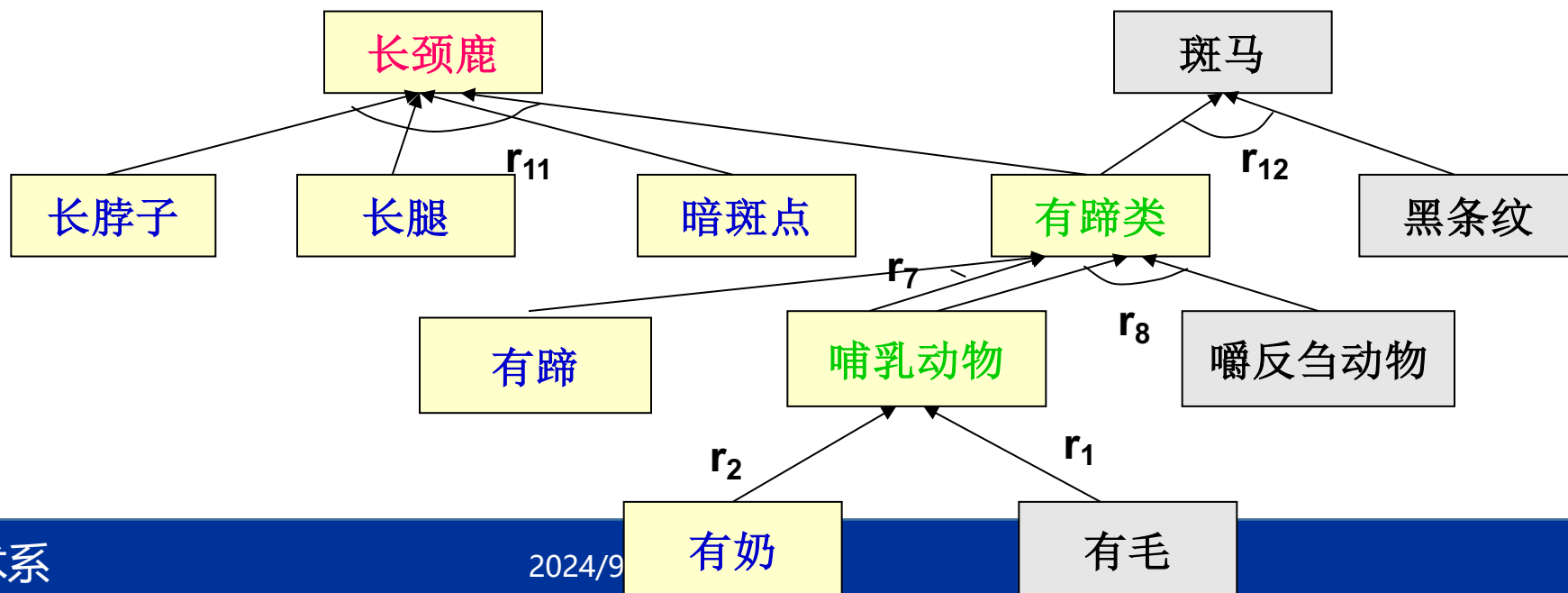


- r11: IF 该动物是有蹄类动物 AND 有长脖子 AND  
有长腿 AND 身上有暗斑点  
THEN 该动物是长颈鹿
- r12: IF 动物是有蹄类动物 AND 身上有黑色条纹  
THEN 该动物是斑马
- r13: IF 该动物是鸟 AND 有长脖子 AND 有长腿  
AND 不会飞 AND 有黑白二色  
THEN 该动物是鸵鸟
- r14: IF 该动物是鸟 AND 会游泳 AND 不会飞  
AND 有黑白二色  
THEN 该动物是企鹅



r15: IF 该动物是鸟AND善飞 THEN 该动物是信天翁

- ◆ 初始综合数据库包含的事实有：  
动物有暗斑点，有长脖子，有长腿，有奶，有蹄
- ◆ 该例子的部分推理网络如下：





# 产生式系统的特点

## ◆ 优点：

- (1) 格式单一，计算简单。
- (2) 模块化，便于知识的操作和管理。
- (3) 形式自然，便于理解、推理和解释。
- (4) 表达较全面，应用广泛。

## ◆ 缺点：

- 效率低
- 不能表示结构性知识

## ◆ 适合产生式表示的知识

- 领域知识关系不密切，不存在结构关系
- 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
- 领域问题的求解过程可以被表示为一系列相对独立的操作，每个操作可被表示为一条或多条产生式规则。



- 本章首先介绍了知识的概念与特征。知识主要具有相对正确性、不确定性等特性。造成知识具有不确定性的原因主要有随机性、模糊性、经验性、认识不完全性。
- 介绍了四种知识表示方法：
  - ✓ 一阶谓词逻辑表示法具有自然、精确、严密、容易实现等优点，但有无法表示不确定的知识、组合爆炸、效率低等缺点。
  - ✓ 产生式通常用于表示事实、规则以及它们的不确定性度量，产生式可以表示确定性规则，也可以表示各种操作、规则、变换、算子、函数等；可以表示确定性知识，也可以表示不确定性知识。