

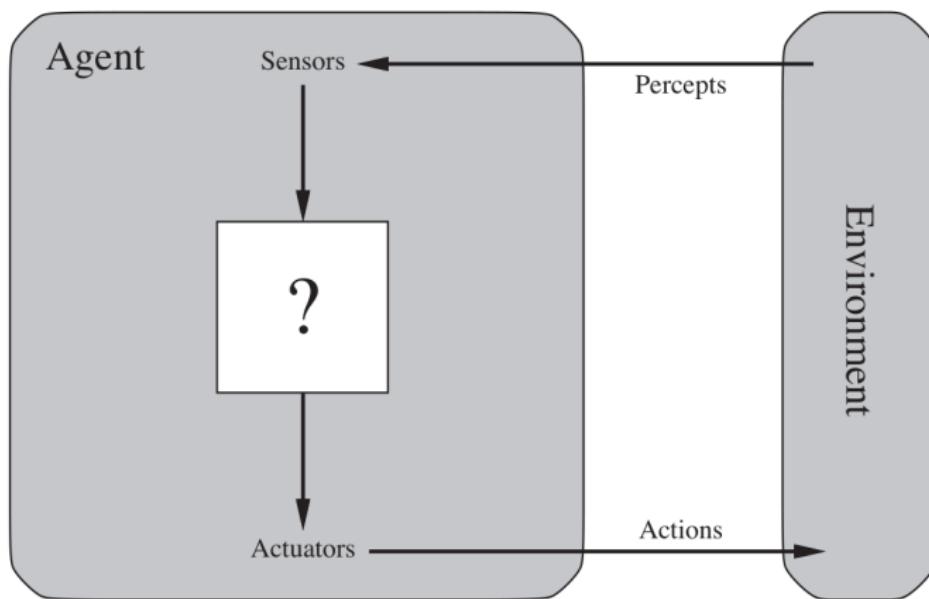
# 人工智能： 知识及知识表示

陈冠毅

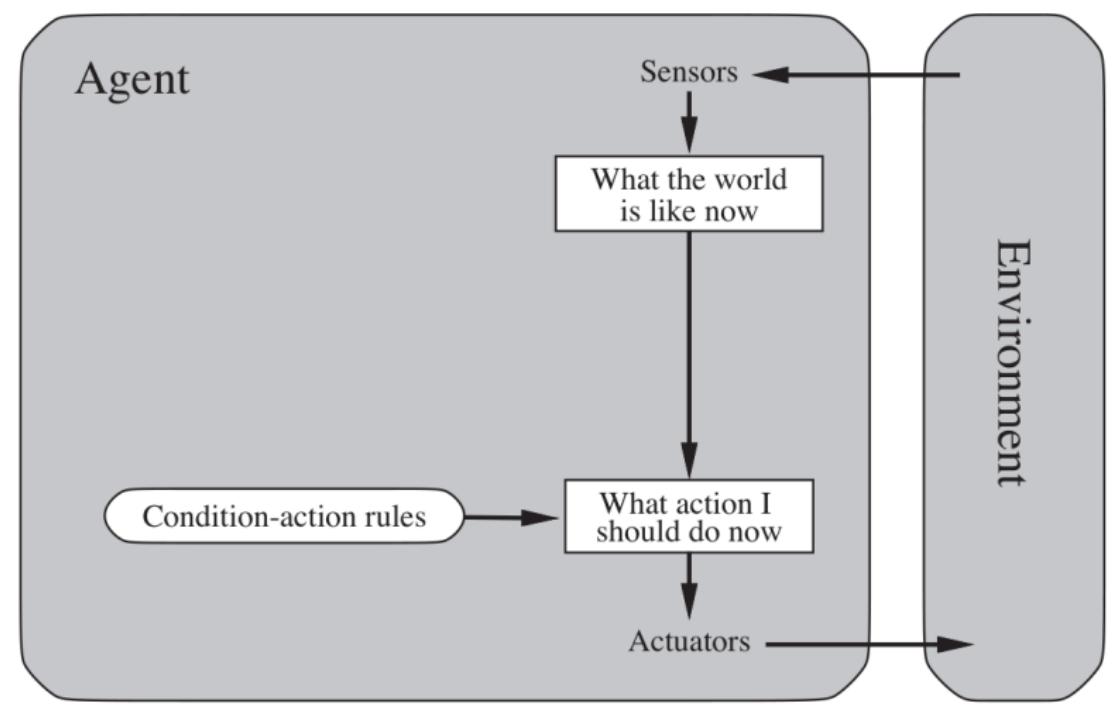
*g.chen@ccnu.edu.cn*

计算机学院  
华中师范大学

# 智能体



# 反射智能体

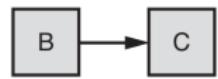


# How?

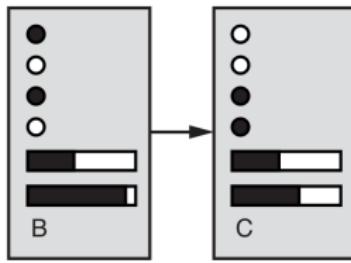
---

1. What the world is like now?
  - 知识及知识表示(第二章) ←
2. What action I should do now?
  - 经典逻辑推理(第三章)
  - 不确定性推理(第四章)

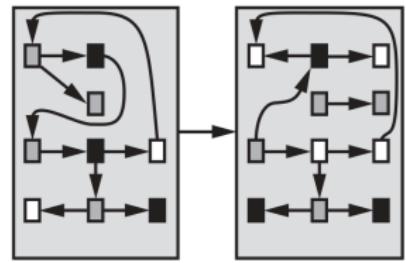
# How?



(a) Atomic



(b) Factored



(b) Structured

# 知识表示

---

1. 原子表示：产生式系统
2. 要素化表示：框架表示法
3. 结构化表示：一阶谓词逻辑，语义网，面向对象

基本概念

一阶谓词表示法

产生式表示法

框架表示法

语义网络表示法

面向对象表示法

# 数据与信息

---

- 数据是泛指对客观事物的数量、属性、位置及其相互关系的抽象表示。数据既可以是一个数，也可以是由一组符号组合而成的字符串。
- 信息是根据表示数据所用的约定，赋予数据意义。  
例如：100是数据，而“考试成绩是满分”是信息
- 数据是信息的载体和表示，信息是数据在特定场合下的具体含义，或者说信息是数据的语义：
  - 同一个数据，它在某一场合下可能表示这样一个信息，但在另一场合下却表示另一信息；
  - 对同一个信息，在不同场合下可用不同的数据表示。

- 数据是泛指对客观事物的数量、属性、位置及其相互关系的抽象表示。数据既可以是一个数，也可以是由一组符号组合而成的字符串。
- 信息是根据表示数据所用的约定，赋予数据意义。  
例如：100是数据，而“考试成绩是满分”是信息
- 数据是信息的载体和表示，信息是数据在特定场合下的具体含义，或者说信息是数据的语义：
  - 同一个数据，它在某一场合下可能表示这样一个信息，但在另一场合下却表示另一信息；
  - 对同一个信息，在不同场合下可用不同的数据表示。

# 知识

---

- 把有关信息关联在一起形成的信息结构称为知识。
- 知识是人们在长期的生活及社会实践中、科学研究及试验中积累起来的对客观世界的认识与经验，人们把实践中获得的信息关联在一起，就获得了知识。
- 信息之间的关联方式用得最多的是：“如果...，则...” 的关联形式
- 知识反映了客观世界中事物之间的关系，不同事物或者相同事物间的不同关系形成了不同知识

# 知识

---

- 把有关信息关联在一起形成的信息结构称为知识。
- 知识是人们在长期的生活及社会实践中、科学研究及试验中积累起来的对客观世界的认识与经验，人们把实践中获得的信息关联在一起，就获得了知识。
- 信息之间的关联方式用得最多的是：“如果...，则...” 的关联形式
- 知识反映了客观世界中事物之间的关系，不同事物或者相同事物间的不同关系形成了不同知识

# 知识

---

- 把有关信息关联在一起形成的信息结构称为知识。
- 知识是人们在长期的生活及社会实践中、科学研究及试验中积累起来的对客观世界的认识与经验，人们把实践中获得的信息关联在一起，就获得了知识。
- 信息之间的关联方式用得最多的是：“如果...，则...” 的关联形式
- 知识反映了客观世界中事物之间的关系，不同事物或者相同事物间的不同关系形成了不同知识

# 知识的特性

---

1. 相对正确性: 在一定的条件和环境下, 知识一般是正确的、可信的。
  - 水在摄氏100度会沸腾。
  - 如果起火了, 就要用水浇灭。
2. 不确定性: 知识不仅有“真”和“假”两种状态, 在“真”和“假”之间还存在许多中间状态, 即存在“真”的程度性问题, 知识的这一特性称为不确定性。
  - 由随机性引起的不确定性
  - 由模糊性引起的不确定性
  - 由不完全性引起的不确定性
  - 由经验引起的不确定性
3. 可表示性和可利用性

# 知识的特性

---

1. 相对正确性：在一定的条件和环境下，知识一般是正确的、可信的。
  - 水在摄氏100度会沸腾。
  - 如果起火了，就要用水浇灭。
2. 不确定性：知识不仅有“真”和“假”两种状态，在“真”和“假”之间还存在许多中间状态，即存在“真”的程度性问题，知识的这一特性称为不确定性。
  - 由随机性引起的不确定性
  - 由模糊性引起的不确定性
  - 由不完全性引起的不确定性
  - 由经验引起的不确定性
3. 可表示性和可利用性

# 知识的特性

---

1. 相对正确性：在一定的条件和环境下，知识一般是正确的、可信的。
  - 水在摄氏100度会沸腾。
  - 如果起火了，就要用水浇灭。
2. 不确定性：知识不仅有“真”和“假”两种状态，在“真”和“假”之间还存在许多中间状态，即存在“真”的程度性问题，知识的这一特性称为不确定性。
  - 由随机性引起的不确定性
  - 由模糊性引起的不确定性
  - 由不完全性引起的不确定性
  - 由经验引起的不确定性
3. 可表示性和可利用性

# 知识的分类

---

- 按知识的作用范围分
  - 1. **常识性知识**: 通用知识
  - 2. **领域性知识**: 即面向某个具体领域的知识, 是专业知识
- 按知识的作用及表示分
  - 1. **事实性知识**用于描述领域内的有关概念、事实、事物的属性及状态等。
  - 2. **过程性知识**是指与领域有关的知识, 用于指出如何处理与问题有关的信息求得问题的解。
  - 3. **控制性知识**, 又称为深层知识或元知识, 它是关于如何运用已有的知识进行问题求解的知识。

# 知识的分类

---

- 按知识的作用范围分
  - 1. **常识性知识**: 通用知识
  - 2. **领域性知识**: 即面向某个具体领域的知识, 是专业知识
- 按知识的作用及表示分
  - 1. **事实性知识**用于描述领域内的有关概念、事实、事物的属性及状态等。
  - 2. **过程性知识**是指与领域有关的知识, 用于指出如何处理与问题有关的信息求得问题的解。
  - 3. **控制性知识**, 又称为深层知识或元知识, 它是关于如何运用已有的知识进行问题求解的知识。

# 知识的分类

---

- 按知识的作用范围分
- 按知识的作用及表示分
- 按知识的确定性分
  1. 确定性知识: 可指出其真值为“真”或“假”的知识。
  2. 不确定性知识: 对不精确、不完全及模糊知识的总称。
- 按知识的结构及表现形式划分
  1. 逻辑性知识: 反映人类逻辑思维过程的知识。
  2. 形象性知识: 通过事物的形象建立起来的知识。

# 知识的分类

---

- 按知识的作用范围分
- 按知识的作用及表示分
- 按知识的确定性分
  1. 确定性知识: 可指出其真值为“真”或“假”的知识。
  2. 不确定性知识: 对不精确、不完全及模糊知识的总称。
- 按知识的结构及表现形式划分
  1. 逻辑性知识: 反映人类逻辑思维过程的知识。
  2. 形象性知识: 通过事物的形象建立起来的知识。

# 知识的表示

---

知识的表示实际上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**。

知识表示法分为：

1. **符号表示法**: 用各种包含具体含义的符号，以各种不同的方式和次序组合起来表示知识的一种方法，用来表示逻辑性知识。
2. **连接机制表示法**: 用神经网络技术表示知识的一种方法，它把各种物理对象以不同的方式及次序连接起来，并在其间互相传递及加工各种包含具体意义的信息，用来表示相关概念和知识，适用于形象知识。

或按组织方式分类：

1. **陈述性指示法**: 主要用来描述事实性知识。这种表示方法将知识表示与知识的运用分开处理。在表示知识时，并不涉及如何运用知识的问题。着重于知识的静态方面。
2. **过程性表示法**: 主要用来描述规则性和控制结构知识。强调知识的运用。

或按组织方式分类：

1. **陈述性指示法**: 主要用来描述事实性知识。这种表示方法将知识表示与知识的运用分开处理。在表示知识时，并不涉及如何运用知识的问题。着重于知识的静态方面。
2. **过程性表示法**: 主要用来描述规则性和控制结构知识。强调知识的运用。

上述方法中包含了很多具体的方法，包括：一阶谓词逻辑表示法、产生式表示法、框架表示法、语义网络表示法、脚本表示法、过程表示法、Petri网表示法、面向对象表示法。

对同一知识，可用多种表示法进行表示，但其效果却不同。

选择知识表示法应考虑：

1. 充分表示领域性知识。需深入地了解领域知识的特点及每一种表示模式的特征。
2. 有利于对知识的利用
  - “表示”的作用是把领域内的相关知识形式化并用适当的内部形式存储到计算机中去。
  - “利用”是使用这些知识进行推理、求解现实问题。
  - “表示”的目的是“利用”，“利用”的基础是“表示”。
3. 便于对知识的组织、维护和管理。
4. 便于理解和实现。

基本概念

一阶谓词表示法

产生式表示法

框架表示法

语义网络表示法

面向对象表示法

- 命题是具有真假意义的语句。
- 命题是用谓词表示的。
- 一个谓词可分为谓词名与个体两个部分
  - 个体表示某个独立存在的事物或某个抽象的概念
  - 谓词名用于刻画个体的性质、状态或个体间的关系
  - 谓词的一般形式是:  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$
- 谓词的定义是由使用者根据需要认为定义的:  
 $S(x)$ 可以表示为“ $x$ 是一个学生”或“ $x$ 是一只船”。
- 谓词中的变元用特定的个体取代时, 谓词就具有一个确定的真值: True/False。
- 谓词中包含个体的数目称为谓词的元数, 例如  $P(x)$  是一元谓词,  $P(x, y)$  是二元谓词,  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$  是  $n$  元谓词。

- 命题是具有真假意义的语句。
- 命题是用谓词表示的。
- 一个谓词可分为谓词名与个体两个部分
  - 个体表示某个独立存在的事物或某个抽象的概念
  - 谓词名用于刻画个体的性质、状态或个体间的关系
  - 谓词的一般形式是:  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$
- 谓词的定义是由使用者根据需要认为定义的:  
 $S(x)$ 可以表示为“ $x$ 是一个学生”或“ $x$ 是一只船”。
- 谓词中的变元用特定的个体取代时, 谓词就具有一个确定的真值: True/False。
- 谓词中包含个体的数目称为谓词的元数, 例如  $P(x)$  是一元谓词,  $P(x, y)$  是二元谓词,  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$  是  $n$  元谓词。

- 命题是具有真假意义的语句。
- 命题是用谓词表示的。
- 一个谓词可分为**谓词名**与**个体**两个部分
  - 个体表示某个独立存在的事物或某个抽象的概念
  - 谓词名用于刻画个体的性质、状态或个体间的关系
  - 谓词的一般形式是:  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$
- 谓词的定义是由使用者根据需要认为定义的:  
 $S(x)$ 可以表示为“ $x$ 是一个学生”或“ $x$ 是一只船”。
- 谓词中的变元用特定的个体取代时，谓词就具有一个确定的真值: True/False。
- 谓词中包含个体的数目称为谓词的元数, 例如 $P(x)$ 是一元谓词,  
 $P(x, y)$ 是二元谓词,  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 是 $n$ 元谓词。

- 命题是具有真假意义的语句。
- 命题是用谓词表示的。
- 一个谓词可分为**谓词名**与**个体**两个部分
  - 个体表示某个独立存在的事物或某个抽象的概念
  - 谓词名用于刻画个体的性质、状态或个体间的关系
  - 谓词的一般形式是:  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$
- 谓词的定义是由使用者根据需要认为定义的:  
 $S(x)$ 可以表示为“ $x$ 是一个学生”或“ $x$ 是一只船”。
- 谓词中的变元用特定的个体取代时, 谓词就具有一个确定的真值: True/False。
- 谓词中包含个体的数目称为谓词的元数, 例如 $P(x)$ 是一元谓词,  
 $P(x, y)$ 是二元谓词,  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 是 $n$ 元谓词。

- 命题是具有真假意义的语句。
- 命题是用谓词表示的。
- 一个谓词可分为**谓词名**与**个体**两个部分
  - 个体表示某个独立存在的事物或某个抽象的概念
  - 谓词名用于刻画个体的性质、状态或个体间的关系
  - 谓词的一般形式是:  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$
- 谓词的定义是由使用者根据需要认为定义的:  
 $S(x)$ 可以表示为“ $x$ 是一个学生”或“ $x$ 是一只船”。
- 谓词中的变元用特定的个体取代时, 谓词就具有一个确定的真值: **Ture/False**。
- 谓词中包含个体的数目称为谓词的元数, 例如 $P(x)$ 是一元谓词,  
 $P(x, y)$ 是二元谓词,  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 是 $n$ 元谓词。

- 命题是具有真假意义的语句。
- 命题是用谓词表示的。
- 一个谓词可分为**谓词名**与**个体**两个部分
  - 个体表示某个独立存在的事物或某个抽象的概念
  - 谓词名用于刻画个体的性质、状态或个体间的关系
  - 谓词的一般形式是:  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$
- 谓词的定义是由使用者根据需要认为定义的:  
 $S(x)$ 可以表示为“ $x$ 是一个学生”或“ $x$ 是一只船”。
- 谓词中的变元用特定的个体取代时, 谓词就具有一个确定的真值: **Ture/False**。
- 谓词中包含个体的数目称为谓词的元数, 例如 $P(x)$ 是一元谓词,  
 $P(x, y)$ 是二元谓词,  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 是 $n$ 元谓词。

## Recall: 数学基础 Cont.

---

- 一阶谓词:  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$  中的  $x_i$  是个体常量、变元、函数。
- 二阶谓词:  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$  中的  $x_i$  是一阶谓词。
- 连接词:  $\neg, \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$
- 量词:  $\forall, \exists$
- 约束变元和自由变元:  $(\exists x)(P(x, y) \rightarrow Q(x, y)) \vee R(x, y)$

# 表示知识的方法

---

- 事实性知识：用与/或形表示
- 规则：用来表示事物间的因果关系，用蕴涵式表示

谓词公式表示知识的步骤：

1. 定义谓词及个体，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，形成公式

# 例子

---

1. 张三的父亲与母亲结婚。
2. 我喜欢音乐和绘画。
3. 如果书是李四的那么它是蓝色的。
4. 所有的机器人都是灰色的。
5. 1号房间内有个物体。
6. 刘欢比他父亲出名，所以他父亲很自豪。
7. 王五是计算机系的一个学生，但他不喜欢编程序。
8. 所有学生都穿彩色制服。
9. 任何整数或者为正数或者为负数。
10. 自然数都是大于零的整数。
11. 人人爱劳动

## 另一个例子

---

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处的桌子上，然后再回到c处，需要制定相应的行动规划。用一阶谓词逻辑来描述机器人的行动活动。

## 另一个例子

---

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处的桌子上，然后再回到c处，需要制定相应的行动规划。用一阶谓词逻辑来描述机器人的行动活动。

定义谓词：

- $\text{Table}(x)$ : x是桌子
- $\text{Empty}(y)$ : y手中是空的
- $\text{At}(y,z)$ : y在z附近
- $\text{Holds}(y,w)$ : y拿着w
- $\text{On}(w,x)$ : w在x上

## 另一个例子 Cont.

---

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处的桌子上，然后再回到c处，需要制定相应的行动规划。用一阶谓词逻辑来描述机器人的行动活动。

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处的桌子上，然后再回到c处，需要制定相应的行动规划。用一阶谓词逻辑来描述机器人的行动活动。

定义问题的初始状态和目标状态：

- 初始状态：  $AT(robot, c)$   $Empty(robot)$   $On(box, a)$   $Table(a)$   $Table(b)$
- 目标状态：  $AT(robot, c)$   $Empty(robot)$   $On(box, b)$   $Table(a)$   $Table(b)$

## 另一个例子 Cont.

---

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处的桌子上，然后再回到c处，需要制定相应的行动规划。用一阶谓词逻辑来描述机器人的行动活动。

## 另一个例子 Cont.

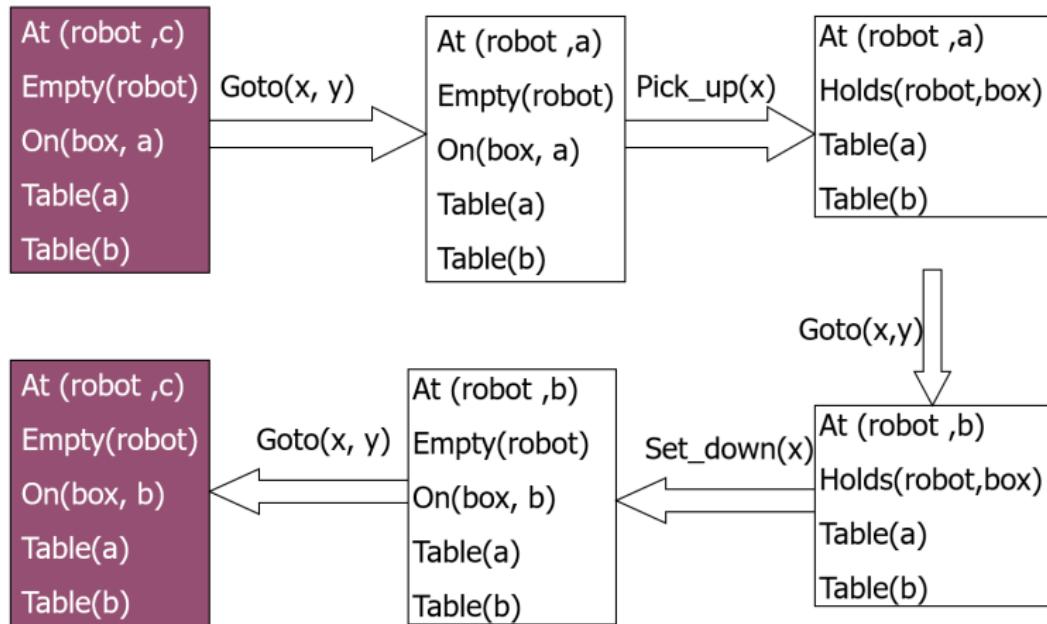
---

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处的桌子上，然后再回到c处，需要制定相应的行动规划。用一阶谓词逻辑来描述机器人的行动活动。

定义操作：

- 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)  $\wedge$  Empty(robot)
  - 动作: 删除: Empty(robot) On(box, x) 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: Empty(robot) On(box, x)

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处的桌子上，然后再回到c处，需要制定相应的行动规划。用一阶谓词逻辑来描述机器人的行动活动。



# 一阶谓词表示法的特点

---

优点:

- 自然性
- 精确性
- 严密性
- 容易实现

缺点:

- 不能表示不确定知识
- 组合爆炸
- 效率低

# Overview

---

基本概念

一阶谓词表示法

产生式表示法

框架表示法

语义网络表示法

面向对象表示法

# 产生式的基本形式

---

产生式通常用于表示具有因果关系的知识，基本形式是：

$$P \rightarrow Q \text{ 或者 IF } P \text{ THEN } Q$$

# 产生式的基本形式

---

产生式通常用于表示具有因果关系的知识，基本形式是：

$$P \rightarrow Q \text{ 或者 IF } P \text{ THEN } Q$$

条件式只是产生式的特殊情况：

- 条件式只能表示精确知识，产生式可以表示精确知识和不精确知识。
- 在产生式中事实与前提条件的匹配可以是精确的也可是不精确的。条件式的匹配要求是精确的。

# 产生式表示知识的方法

---

规则性知识/事实性知识+ 确定性/不确定性

- 确定性规则性知识:  $P \rightarrow Q$  或者 IF P THEN Q
- 不确定性规则性知识:  $P \rightarrow Q$  (可信度) 或者 IF P THEN Q (可信度)
- 确定性事实性知识: (对象, 属性, 值) 或(关系, 对象, 对象)
- 不确定性事实性知识: (对象, 属性, 值, 不确定度量值) 或(关系, 对象, 对象, 不确定度量值)

# 产生式表示知识的方法

---

规则性知识/事实性知识+ 确定性/不确定性

- 确定性规则性知识:  $P \rightarrow Q$  或者 IF P THEN Q
- 不确定性规则性知识:  $P \rightarrow Q$  (可信度) 或者 IF P THEN Q (可信度)
- 确定性事实性知识: (对象, 属性, 值) 或(关系, 对象, 对象)
- 不确定性事实性知识: (对象, 属性, 值, 不确定度量值) 或(关系, 对象, 对象, 不确定度量值)

# 产生式表示知识的方法

---

规则性知识/事实性知识+ 确定性/不确定性

- 确定性规则性知识:  $P \rightarrow Q$  或者 IF P THEN Q
- 不确定性规则性知识:  $P \rightarrow Q$  (可信度) 或者 IF P THEN Q (可信度)
- 确定性事实性知识: (对象, 属性, 值) 或(关系, 对象, 对象)
- 不确定性事实性知识: (对象, 属性, 值, 不确定度量值) 或(关系, 对象, 对象, 不确定度量值)

# 产生式表示知识的方法

---

规则性知识/事实性知识+ 确定性/不确定性

- 确定性规则性知识:  $P \rightarrow Q$  或者 IF P THEN Q
- 不确定性规则性知识:  $P \rightarrow Q$  (可信度) 或者 IF P THEN Q (可信度)
- 确定性事实性知识: (对象, 属性, 值) 或(关系, 对象, 对象)
- 不确定性事实性知识: (对象, 属性, 值, 不确定度量值) 或(关系, 对象, 对象, 不确定度量值)

# 产生式表示知识的方法

---

规则性知识/事实性知识+ 确定性/不确定性

- 确定性规则性知识:  $P \rightarrow Q$  或者 IF P THEN Q
- 不确定性规则性知识:  $P \rightarrow Q$  (可信度) 或者 IF P THEN Q (可信度)
- 确定性事实性知识: (对象, 属性, 值) 或(关系, 对象, 对象)
- 不确定性事实性知识: (对象, 属性, 值, 不确定度量值) 或(关系, 对象, 对象, 不确定度量值)

## 事实性知识

---

事实性知识可看成是断言一个语言变量的值或多个语言变量间的关系的陈述句。语言变量的值或语言变量间的关系可以是一个词，不一定是数字。

- “雪是白色的” 中雪是语言变量，其值是白色的。
- “约翰喜欢玛丽” 中约翰、玛丽是两个语言变量，两者的关系值是喜欢。

# 事实性知识

---

事实性知识可看成是断言一个语言变量的值或多个语言变量间的关系的陈述句。语言变量的值或语言变量间的关系可以是一个词，不一定是数字。

- “雪是白色的” 中雪是语言变量，其值是白色的。
- “约翰喜欢玛丽” 中约翰、玛丽是两个语言变量，两者的关系值是喜欢。

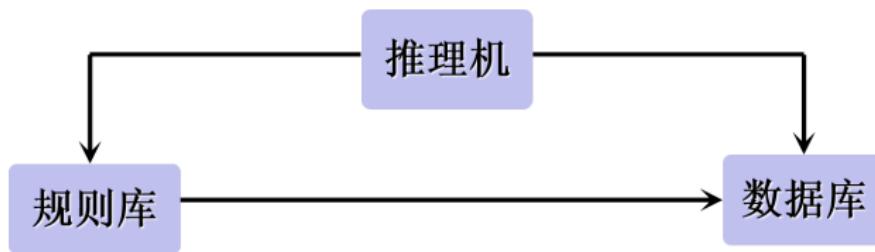
例：

- 老李的年龄是35岁。
- 老李和老张是朋友。
- 老李年龄可能是35岁。
- 老李和老张是朋友的可能性不大。

# 产生式系统

把一组产生式放在一起，让它们互相配合，协同工作，一个产生式的结论可供另一个产生式作为已知事实使用，以求问题的解决，这样的系统称为**产生式系统**。

产生式系统通常由规则库、数据库和推理机这三个基本部分组成：



# 规则库

---

用于描述领域内知识的产生式集合称为规则库

1. 有效表达领域内的过程性知识
2. 对知识进行合理的组织与管理

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

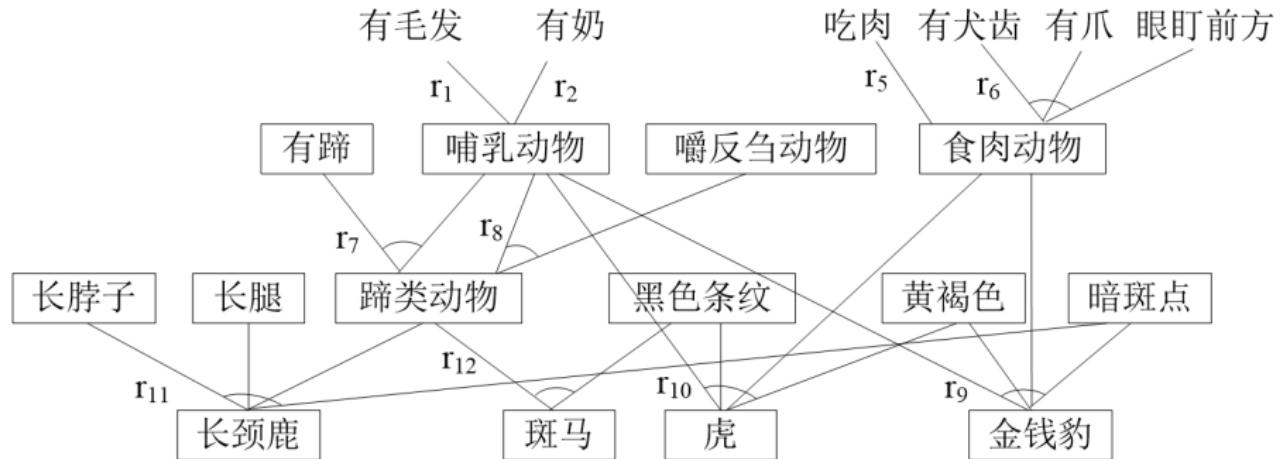
r6: IF 该动物犬齿 AND 有爪 AND 眼盯前方 THEN 该动物是食肉动物

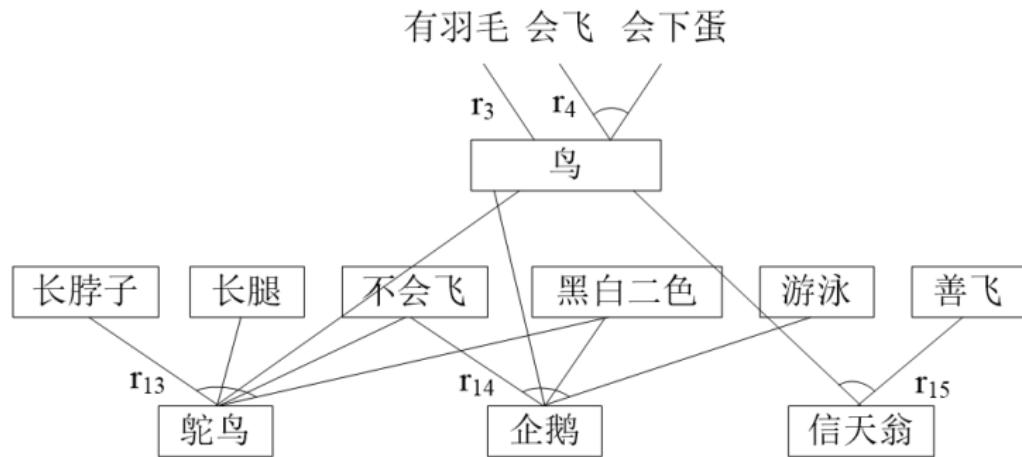
r7: IF 该动物是哺乳动物 AND 有蹄 THEN 该动物是蹄类动物

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 该动物是蹄类动物 AND 身上有黑色条纹 THEN 该动物是斑马
- r13: IF 该动物是蹄类动物 AND 有长脖子 AND 有长腿 AND 不会飞 AND 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 动物是企鹅
- r15: IF 该动物是鸟 AND 善飞 THEN 该动物是信天翁

# 规则库





# 产生式系统

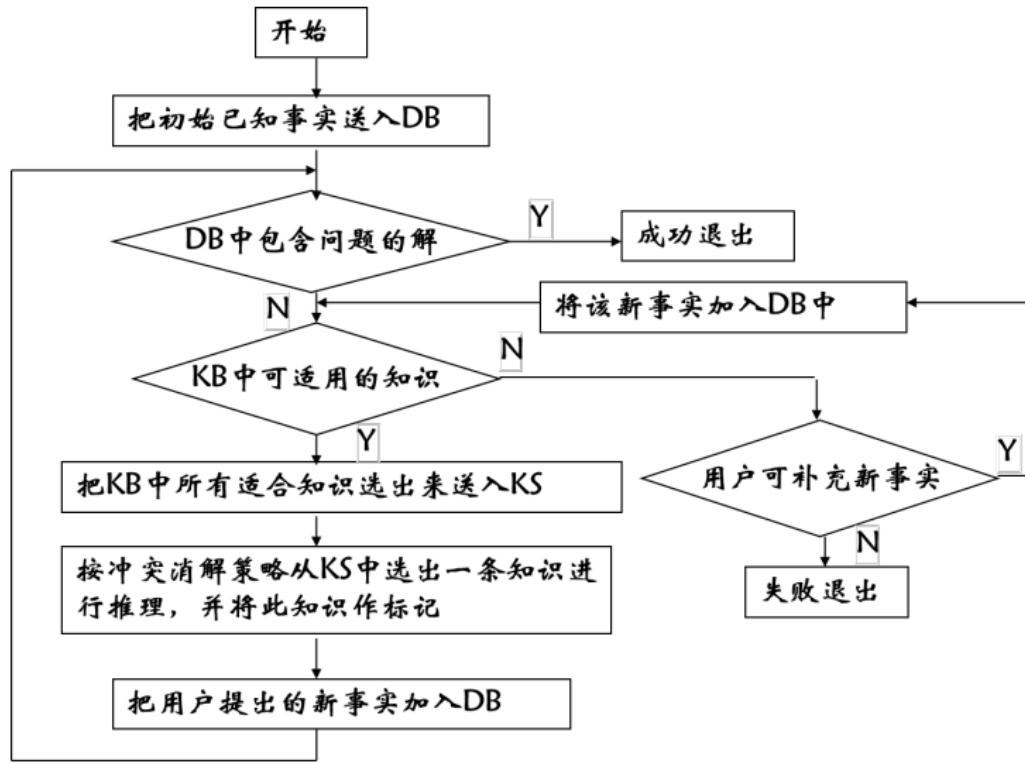
---

## 综合数据库

- 综合数据库又称事实库、上下文、黑板等。
- 它是一个用于存放问题求解过程中各种当前信息的数据结构。
- 综合数据库中的内容是在不断变化的，动态的。

## 控制系统

- 控制系统又称推理机构，由一组程序构成，负责产生式系统的运行，实现对问题的求解
- 匹配
- 冲突消解
- 操作
- 对于不确定知识，需按一定算法计算不确定性
- 掌握结束产生式系统的运行时机



# 例子

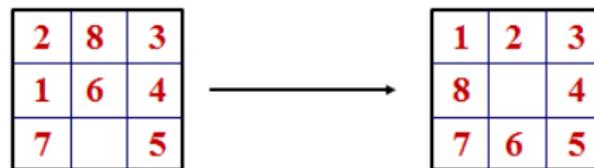
---

## 1. 设字符转换规则

有 $\{A \wedge B \rightarrow C, A \wedge C \rightarrow D, B \wedge C \rightarrow G, B \wedge E \rightarrow F, D \rightarrow E\}$ , 已知字符A和B, 求F。

## 2. 设有下列8数码难题: 在一个 $3 \times 3$ 的方格内放有8个编号的小牌, 紧邻空位的小牌可以移入到空位上, 通过平移小牌可将某一布局变换成另一布局。请用产生式系统表示移动小牌的操作。

### 八数码难题 (8-puzzle problem)



(初始状态)

(目标状态)

# 产生式系统的分类

---

- 推理方向：前向、后向、双向产生式系统
- 表示知识的确定性：确定性产生式系统、不确定性产生式系统

# 产生式表示法的特点

---

优点:

- 自然性
- 模块性
- 有效性
- 清晰性

缺点:

- 效率不高
- 不能表达结构性的知识

# 产生式表示法的特点

---

产生式表示具有表示下列特点的领域知识：

- 由许多相对独立的知识元组成的领域知识，彼此间关系不密切，不存在结构关系。
- 具有经验性及不确定性知识，而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。

基本概念

一阶谓词表示法

产生式表示法

框架表示法

语义网络表示法

面向对象表示法

## A Framework for Representing Knowledge

Marvin Minsky

MIT-AI Laboratory Memo 306, June, 1974.

Reprinted in *The Psychology of Computer Vision*, P. Winston (Ed.), McGraw-Hill, 1975. Shorter versions in J. Haugeland, Ed., *Mind Design*, MIT Press, 1981, and in *Cognitive Science*, Collins, Allan and Edward E. Smith (eds.) Morgan-Kaufmann, 1992 ISBN 55860-013-2]

FRAMES

# 框架表示法

---

*Here is the essence of the theory: When one encounters a new situation (or makes a substantial change in one's view of the present problem) one selects from memory a structure called a Frame. This is a remembered framework to be adapted to fit reality by changing details as necessary.*

*A frame is a data-structure for representing a stereotyped situation, like being in a certain kind of living room, or going to a child's birthday party.*

# 框架表示法

---

框架理论认为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，当面临一个新事物时，就从记忆中找出一个合适的框架，并根据实际情况对细节加以修改、补充，从而形成对当前事物的认识。

- 框架是一种描述所论对象属性的数据结构。
- 一个框架由若干个槽组成，槽描述对象的属性。
- 一个槽由若干个侧面组成，侧面描述相应属性的一个方面。
- 槽和侧面所具有的属性值分别称为槽值和侧面值。

# 例子

---

<框架名>

槽名1: 侧面名1 值1, 值2, ..., 值p1

侧面名2 值1, 值2, ..., 值p2

... ... ... ... ... ... ...

侧面名m1 值1, 值2, ..., 值pm1

... ... ... ... ... ... ...

... ... ... ... ... ... ...

槽名n: 侧面名1 值1, 值2, ..., 值r1

侧面名2 值1, 值2, ..., 值r2

... ... ... ... ... ... ...

侧面名mn 值1, 值2, ..., 值rmn

约束: 约束条件1

约束条件2

... ... ... ... ... ... ...

# 例子

---

框架名: <优质商品>

商品名称: 红桃K

生产厂家: 红桃K集团

获奖单位: 获奖等级: 省级

颁奖部门: 湖北省卫生厅

颁奖时间: 2000年5月

# 例子

---

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

## 练习

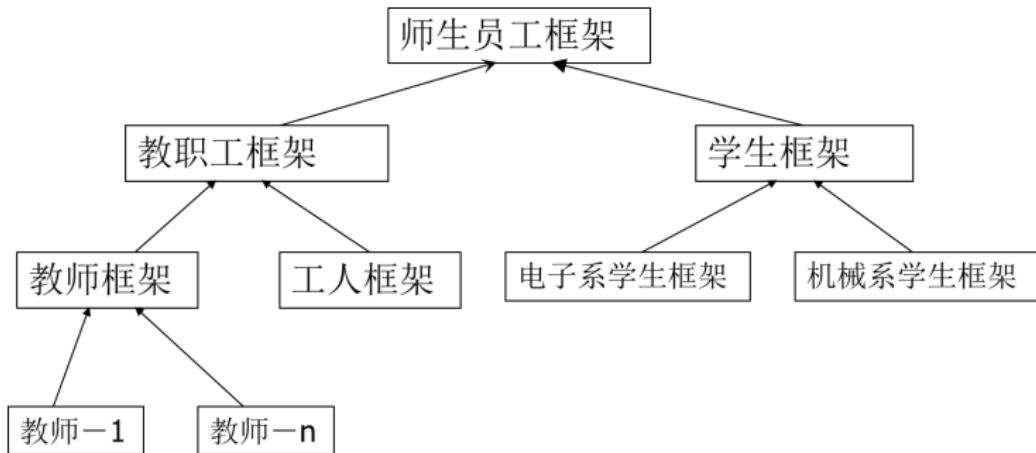
---

下面是一则关于地震的报道，请用框架表示这则报道。

“2003年8月，一次强度为里氏8.5级的强烈地震袭击了下斯洛文尼亚（Low Slabovia）地区，造成24人死亡和5亿美元的财产损失。下斯洛文尼亚的主席说：多年来靠近萨迪壕金斯断层的重灾区一直是个危险地区。这是本地区的3号地震。”

- 继承性是框架表示法的一个重要特性，它不仅可以在两层框架之间实现继承关系，而且可以通过两两的继承关系，从最低层追溯到最高层。
- 为了指明框架间的上、下关系，可在下层框架中设立一个专用的槽（一般为“继承”槽），用以指出它的上层框架是哪一个。

# 框架网络



# 框架网络: 师生员工框架

---

框架名: <师生员工>

姓名: 单位 (姓,名)

年龄: 单位(岁)

性别: 范围 (男,女)

缺省: 男

健康状况: 范围(健康,一般,差)

缺省: 一般

住址: <住址框架>

# 框架网络: 师生员工框架

---

框架名: <教职工>

继承: <师生员工>

工作类别: 范围(教师, 干部, 工人)

缺省: 教师

开始工作时间: 单位(年,月)

截止工作时间: 单位(年,月)

缺省: 现在

离退休状况: 范围(离休, 退休, 在任)

缺省: 退休

# 框架网络: 师生员工框架

---

框架名: <教师>

继承: <教职工>

部门: 单位(系,教研室)

语种: 范围 (英语,法语,德语,日语,俄语)

缺省: 英语

外语水平: 范围(优,良,中,差)

缺省: 良

职称: 范围 (教授,副教授,讲师,助教)

缺省: 讲师

研究方向: ...

# 框架网络: 师生员工框架

---

框架名: <教师-1>

继承: <教职工>

姓名: 孙林

年龄: 28

性别: 男

工作类别: 教师

健康状况: 健康

部门: 计算机软件教研室

语种: 德语

开始工作时间: 1985.9

## 槽在框架中起着重要作用

1. 充分表达事物各有关方面的属性
  - 要与系统的设计目标相一致
  - 仅需要对有关的属性设立槽，不可面面俱到
2. 充分表达相关事物间的各种关系
  - 事物间的联系是通过在槽中填入相应的框架名来实现的，它们的具体关系由槽名指明
3. 对槽及侧面进行合理的组织
  - 尽量把不同框架描述的相同属性抽取出来构成上层框架，而下层框架中只描述相应事物独有的属性
4. 有利于进行框架推理
  - 框架及其相互关联构成的知识库
  - 框架推理机

# 常见的表示对象间关系的槽名

---

1. ISA槽：指出对象间抽象概念的类属关系。其直观意义是“是一个”。在一般情况下，ISA指出的关系都具有继承性。
2. AKO槽：具体地指出对象间的类属关系。其直观意义是“是一种”。在一般情况下，AKO指出的关系都具有继承性。
3. Instance槽：AKO槽的逆关系，当它作为某上层框架的槽时，可在该槽中指出他所练习的下层框架。
4. Part-of槽：指出部分与全体的关系。当其作为某框架的一个槽时，可在该槽中指出他所联系的下层框架，该框架所描述的对象只是其上层框架所描述对象的一部分。

# 框架系统中求解问题的基本过程

---

1. 把待求解问题用一个框架表示出来，其中有的槽是空的，表示待求解问题
2. 通过与知识库中已有的框架进行匹配，找出一个或几个匹配的预选框架
3. 使用一种评价方法对预选框架进行评价，以便决定是否接受它
4. 若框架可接受，则与问题框架的未知处相匹配的事实就是问题的解

# 例子

---

男性，年龄在50以上，职称为教授。

框架名：<教师-x>

姓名：

年龄：>50

性别：男

职称：教授

# 例子

---

框架名: <教师-1>

姓名: 范怡伟

年龄: 28

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>

开始工作时间: 2000年10月

# 例子

---

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-2>

工资: <工资框架-2>

开始工作时间: 1966年10月

# 框架表示法的特点

---

特点：

- 结构性
- 继承性
- 自然性

缺点：框架表示法不善于表达过程性的知识

基本概念

一阶谓词表示法

产生式表示法

框架表示法

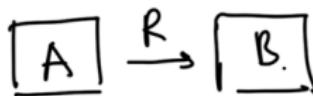
语义网络表示法

面向对象表示法

# 语义网络的概念

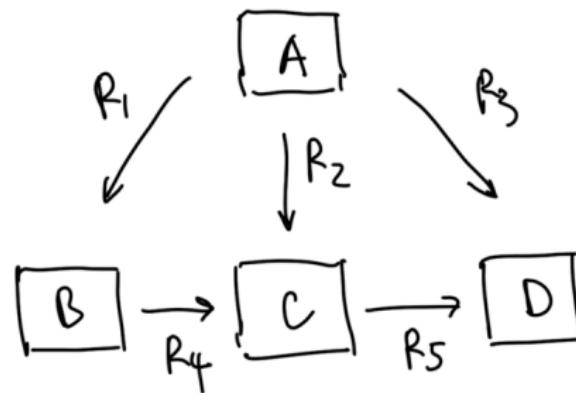
---

- 语义网络是通过概念及其语义关系表达知识的一种网络图。
- 语义网络是一个带标识的有向图：
  - 节点：表示事物、概念、情况、属性、动作、状态等。
  - 弧：表示语义关系。
- 语义网的基本元素被称为语义基元，可用三元组表示：  
 $(\text{节点1}, \text{弧}, \text{节点2})$



# 语义网络的概念

把多个语义基元连接在一起时，就形成了一个语义网络。



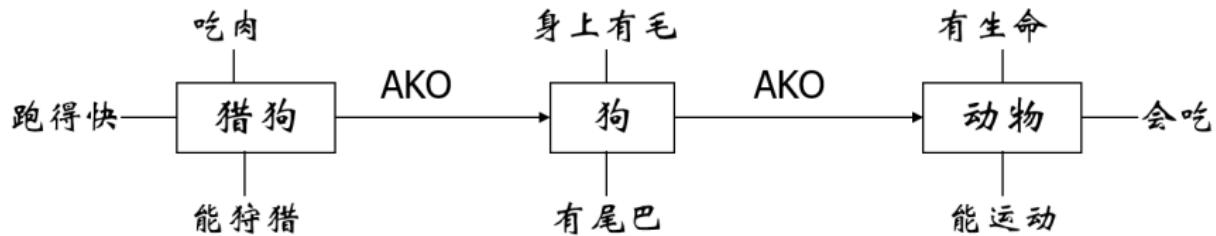
# 语义网络和谓词表示法以及生产式表示法的关系

- 谓词逻辑表示法：一个语义基元相当于一个一阶二元谓词。(节点1, 弧, 节点2) 可以写成 $P(\text{个体1}, \text{个体2})$ , 其中个体表示节点, 个体之间的关系由谓词表示。
- 产生式表示法：产生式表示法的各条产生式规则之间没有直接的联系。而语义网则不同，各个语义基元是互相连接的。每条产生式规则都可以表示成语义网的形式。



# 语义网表示知识的方法：事实性知识

猎狗是一种狗，狗是一种动物。



下层概念继承上层概念的属性，在下层概念中只列出它的独有属性。  
下层概念对上层概念做进一步的细化、补充、变异。

# 语义网表示知识的方法：规则性知识

---

$R_{AB}$ 代表如果那么。



# 用语义网络表示知识的步骤

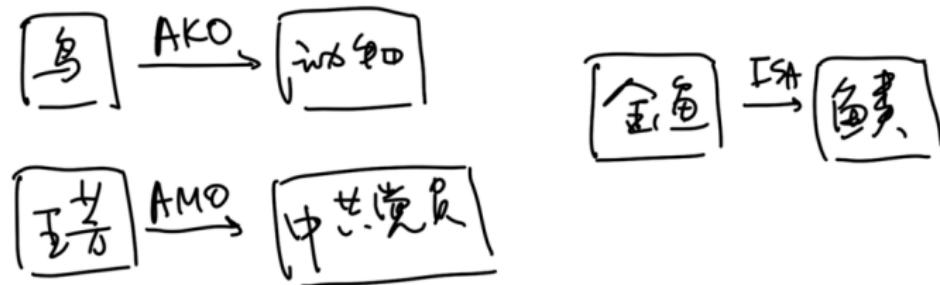
---

1. 确定问题中的所有对象以及各对象的属性。
2. 分析并确定语义网络中所论对象间的关系。
3. 根据语义网络中所涉及的关系，对语义网络中的节点及弧进行整理，包括增加节点、弧和归并节点等。
  - 若是ISA/AKO/AMO等关系，下层可继承上层的属性，整理共同属性，抽取出共同属性，加入上层节点中。
  - .... (其他关系)
4. 分析语义网络中是否含有要表示的知识及所有对象。
5. 为各对象标示属性。

# 常用的语义关系

1. 类属关系：表示事物间抽象概念间的类属关系，体现一种具体与抽象的层次分类：

- AKO: “是一种”，表示一个事物是另一个事物的一种类型。
- AMO: “是一员”，表示一个事物是另一个事物的一个成员。
- ISA: “是一个”，表示一个事物是另一个事物的一个实例。



# 常用的语义关系

2. 包含关系：表示某一事物的部分与整体之间的关系，不具有继承性。

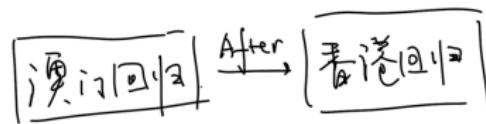


3. 属性关系：表示某一事物及其属性之间的关系，不具有继承性。

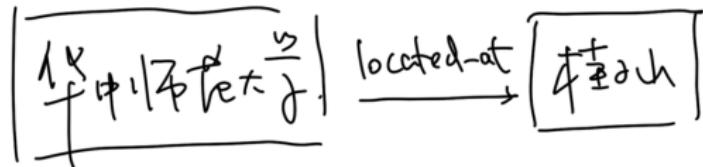


# 常用的语义关系

4. 时间关系：不同事件在发生时间上的先后关系，不具有继承性。

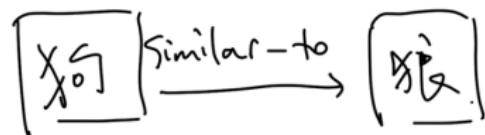


5. 位置关系：不同事物在位置上的关系，不具有继承性。

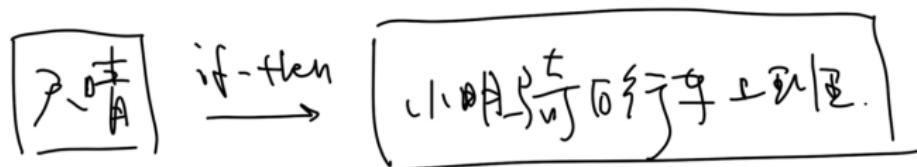


# 常用的语义关系

6. 相近关系：不同事物在形状、内容等方面相似。

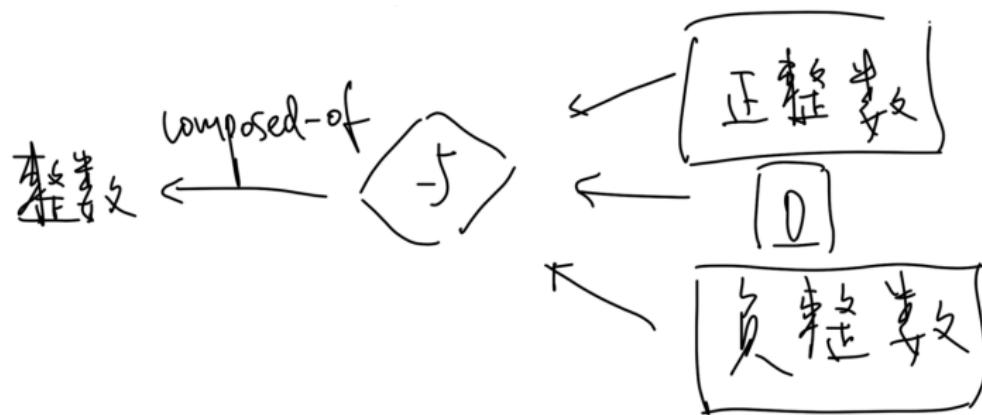


5. 因果关系：由于某一事件的发生而导致另一事件的发生，适用于表示规则性知识。



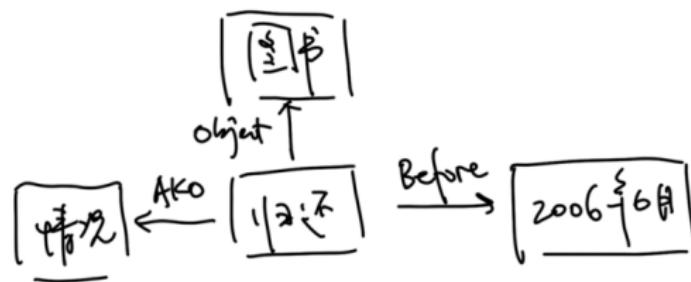
# 常用的语义关系

6. 组成关系：一对多的联系，用与表示某一事物由其他的一些事物构成。



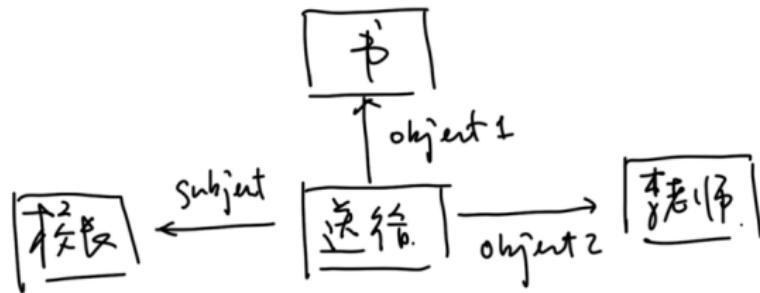
## 语义网表示知识的方法：情况的表示

表示动作的其他情况时，例如动作的时间，可以增加一个情况节点。  
例如：“请在2006年6月前归还图书”



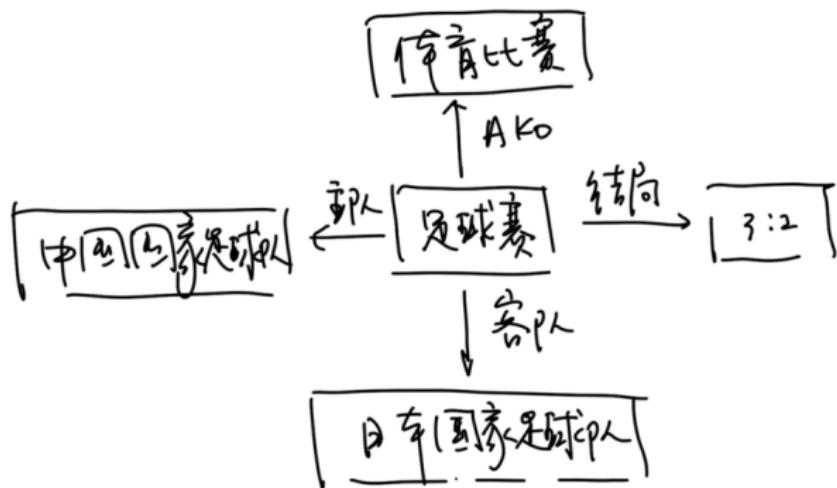
# 语义网表示知识的方法：动作的表示

表示动作既有主体又有客体时，例如：“校长送给李老师一本书。”



# 语义网表示知识的方法：事件的表示

如果要表示的知识可以看做是一个事件，那么可以增加一个事件节点来描述这条知识。



# 语义网表示知识的方法：逻辑连接词和量词的表示

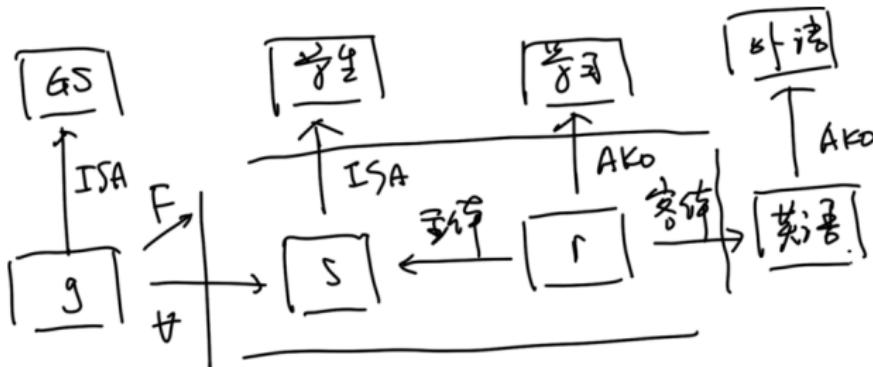
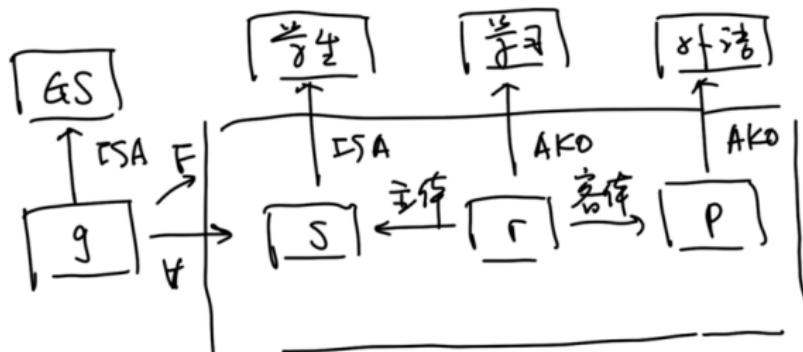
---

如果要表示的知识可以看做是一个事件，那么可以增加一个事件节点来描述这条知识。

- 合取和析取节点。
- 对于存在量词可直接使用“是一个”，“是一种”等语义联系表示。
- 对全称量词可用语义网络分区技术实现。
  - 网络分区技术的基本思想是把一个表示复杂知识的命题划分为若干子命题，每一个子命题可用一个较简单的语义网络表示，称为一个子空间。多个子空间构成一个大空间。每个子空间可以看作是大空间的一个节点，称为超结点。
  - 在网络分区技术中，要求指出的子空间中的所有非全称变量的节点都应是全称变量节点的函数，否则放在子空间外。

# 全称量词

每个学生都学习了英语这门外语。



# 用语义网络表示知识的步骤

---

1. 确定问题中的所有对象以及各对象的属性。
2. 分析并确定语义网络中所论对象间的关系。
3. 根据语义网络中所涉及的关系，对语义网络中的节点及弧进行整理，包括增加节点、弧和归并节点等。
  - 若是ISA/AKO/AMO等关系，下层可继承上层的属性，整理共同属性，抽取出共同属性，加入上层节点中。
  - .... (其他关系)
4. 分析语义网络中是否含有要表示的知识及所有对象。
5. 为各对象标示属性。

# 用语义网络表示知识的步骤

---

1. 确定问题中的所有对象以及各对象的属性。
2. 分析并确定语义网络中所论对象间的关系。
3. 根据语义网络中所涉及的关系，对语义网络中的节点及弧进行整理，包括增加节点、弧和归并节点等。
  - 若是ISA/AKO/AMO等关系，下层可继承上层的属性，整理共同属性，抽取出共同属性，加入上层节点中。
  - 若含有因果关系，则设立情况节点，从该节点引出多条弧将原因节点和结果节点连接起来。
  - 若含有动作关系，则设动作节点，分析动作的主体和客体。
  - 若含有逻辑组成关系，即含“与”和“或”关系，可设立“与”节点或“或”节点。
  - 若含有全称量词的复杂问题，则应采用亨得里克得网络分区技术。
  - 若是规则性知识，则应分析问题中的条件和结果，并将它们作为语义网络中的两个节点，然后用弧连起来。
4. 分析语义网络中是否含有要表示的知识及所有对象。
5. 为各对象标示属性。

# 例子

---

1. 树和草都是植物。树和草都是有根、有叶子的。水草是草，且长在水中。果树是树，且会结果。苹果树是果树中的一种，它结苹果。
2. 李新花是一位年轻的女教师，中等身材，她在本学期给计算机软件的学生教授“人工智能”课程，该课程是门选修课，比较难。
3. 猎狗是一种狗，狗是一种动物。狗除了动物的有生命、能吃食物、有繁殖能力、能运动，还有以下特点：身上有毛、有尾巴、四条腿。猎狗的特点是吃肉、个头大、奔跑速度快、能狩猎。狮子狗也是一种狗，它的特点是吃饲料、身体小、奔跑速度慢、不咬人、供观赏。
4. 山西大学是一所具有百年历史的综合大学，位于太原市笔直宽广的坞城路。张广义同志今年36岁、男性、中等身材，他工作在山西大学。

# 语义网络系统中求解问题的基本过程

---

1. 根据待求解问题的要求构造一个网络片断，其中某些节点或弧的标识是空的，反映待求解问题。
2. 依此网络片断到知识库中去寻找匹配的网络，找出所需信息。
3. 当问题的语义网络片断与知识库中的某语义网络片断匹配时，则与询问处匹配的事实就是问题的解。

# 语义网络表示法的特点

---

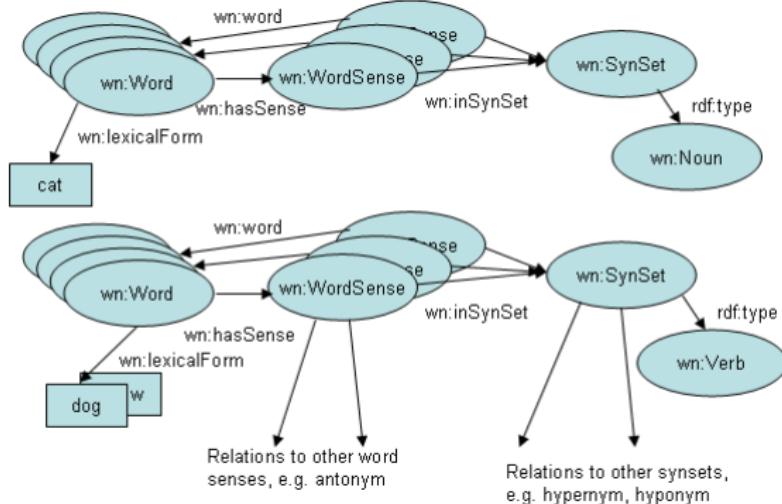
## 语义网络表示法的优点

- 结构性
- 联想性
- 自然性

## 语义网络表示法的缺点

- 非严格性
- 处理上的复杂性

# WordNet



文档: <https://www.nltk.org/howto/wordnet.html>

基本概念

一阶谓词表示法

产生式表示法

框架表示法

语义网络表示法

面向对象表示法

# 基本概念

---

1. 对象
2. 类
3. 封装
4. 继承
5. ...

# 知识表示方法

---

**Class** <类名>[: <超类名>]

[<类变量表>]

**Structure**

<对象的静态结构描述>

**Method**

<关于对象的操作定义>

**Restraint**

<限制条件>

**END**

# 面向对象的基本特征

---

- 模块性
- 继承性
- 封装性
- 多态性
- 易维护性
- 便于增量的设计