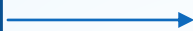


## 第13讲 知识表示和推理机制

## 第14讲 不确定性推理

知识：被证实的事实



知识表示：研究如何表征现实世界的事实

推理：参照人类的推理模式，研究易于计算机推理的机制，如经典逻辑推理，概率推理等。

13.1 知识表示

13.2 命题逻辑和一阶逻辑

13.3 其他确定性知识表示方法

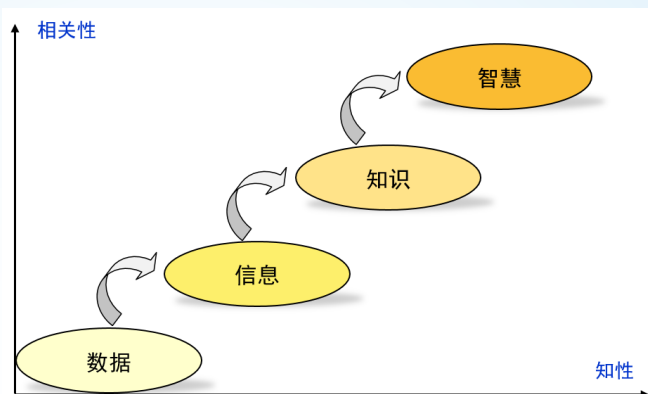
13.4 推理模式

13.5 逻辑推理



- 知识表示研究如何将人类的知识表征为计算机系统可以处理的形式，以便进行推理和解决复杂的问题。
- 所谓的复杂问题主要指的是知识处理问题，而不是一般的计算或数据处理问题。比如医疗诊断专家系统、聊天软件等。
- 知识表示与认知心理学等其它学科相结合，将人类处理知识的方法加以形式化，使系统更容易处理这些知识。

下图是数据、信息、知识与智慧之间的关系，纵轴表示相关性（Connectedness），横轴表示知性（Understanding）。



- 数据（Data）

关于客观世界最简单的表征形式，表现为事实、信号、或者符号。10000， 2

- 信息（Information）

是赋予含义的数据，可通过一些手段进行传播。10000是本金，2%是利率

- 知识（Knowledge）

是信息的加工和凝练，**可用于推理**。存款拿到10200元

- 智慧（Wisdom）

是对知识的高度总结和提升，是作出明智决定和判断的经验。存款，基金等金融产品做出相应的决策，获得更多的收益。



## ■ 陈述性知识 (Declarative knowledge)

亦称概念性、命题性或描述性知识。指人们所知道的事实性知识。所有的知识都以陈述性知识为基础。本质上是静态的，它描述事物、事件、过程、属性和关系。可通过积累而不断地丰富。

## ■ 过程性知识 (Procedural knowledge)

又称命令式知识。用来描述解决问题的过程，从已有的知识中整理出的规则。具有动态特征，是在执行某些任务时所运用的知识。要通过加工整理而成。



## ■ 陈述性知识

- 描述“世界是什么”的知识，例如，中国的首都是北京，“静态”
- 采用陈述性语言：命题逻辑（Propositional logic）、一阶逻辑（First-order logic）、时态逻辑（Temporal logic）、以及产生式系统（Production system）等。
- 亦称描述性知识（Descriptive knowledge）。

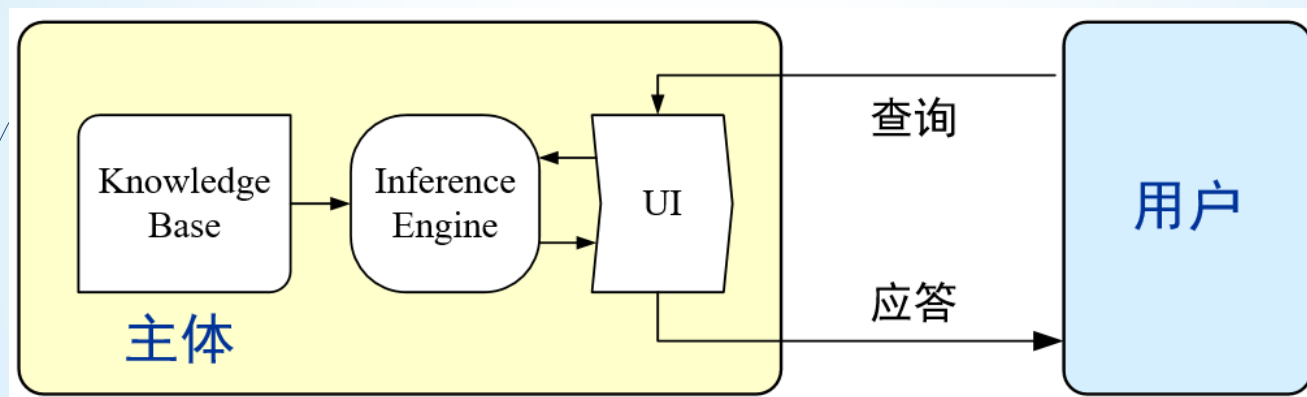
## ■ 过程性知识

- 描述“怎么做”的知识，是在某些任务的执行中所运用的知识，“动态”
- 采用过程性语言：C、C++、C#、Java、Lisp、Python等等。
- 亦称命令性知识（Imperative knowledge）。



知识系统（Knowledge system），基于知识的系统，是一种**计算机程序**，可通过对系统中的知识进行**推理**来解决复杂的知识处理问题。知识库有别于数据库（Data base, DB）。

专家系统（Expert system）、问答系统（Question-answering system）等是知识系统的应用。



知识系统中的三个模块：

- 知识库（Knowledge base, KB）：用于存储**陈述性知识**。
- 推理引擎（Inference engine）：包含**过程性知识**。
- 用户接口（User interface, UI）：用户与系统进行交互的部分。





- 知识可分为：确定性知识（Certainty knowledge）、不确定性知识（Uncertainty knowledge）。
- 不确定性知识：不精确（imprecise）、不完全（incomplete）、随机性（Stochastic）。
- 主要的不确定性知识表示方法：
  - 贝叶斯网络（Bayesian Network） 客观随机不确定性
  - 模糊逻辑（Fuzzy logic） 主观认知不确定性

# 13.1 确定性知识表示

- 经典逻辑: 命题逻辑
- 经典逻辑: 一阶谓词逻辑
- 其他确定性知识表示方法
  - ✓ 产生式系统 (Production System)
  - ✓ 语义网络 (Semantic Network)
  - ✓ 框架 (Frame)
  - ✓ 脚本 (Script)
  - ✓ 描述逻辑 (Description Logic)
  - ✓ 本体 (Ontology)
  - ✓ 资源描述框架 (Resource Description Framework)
  - ✓ 知识图谱 (Knowledge Graph)



## ■ 古典逻辑（2000多年前）：

### ● 亚里士多德的三段论

苏格拉底是人，  
所有人都是要死的，  
因此，苏格拉底是要死的。

### ● 自然语言有时有歧义

## ■ 命题符号化（数理逻辑萌芽，17世纪莱布尼兹）：

### ● 用数学方法研究推理的形式结构和推理规律

### ● 数学方法：引进一套符号体系的方法。

## ■ 布尔代数（19世纪 布尔）：思维的代数

## ■ 命题演算/命题逻辑：布尔代数发展为具有逻辑蕴含式的命题演算

## ■ 谓词符号化：加强了逻辑的表现力

## ■ 谓词演算：公理化的谓词演算是数理逻辑的基础



逻辑（Logic）被称为形式语言（formal languages），具有某些数学性质，可进行数学演算。

形式语言	逻辑范围	逻辑值
命题逻辑	事实	真/假/未知
一阶逻辑	事实、对象、关系	真/假/未知

经典逻辑的逻辑符号：

- 联结（Connectives）符号
- 限量（Quantifiers）符号
- 等量（Equality）符号

类别	符号	含义
联结符号	$\neg$	非，否定词
	$\wedge$	与，合取
	$\vee$	或，析取
	$\Rightarrow$	蕴含
	$\Leftrightarrow$	当且仅当，等价
限量符号	$\forall$	针对所有
	$\exists$	存在
等量符号	$=$	等于

## 13.2 命题逻辑-命题

- 命题: **能判断真假的陈述句**, 具有唯一真值的陈述句。
- 命题的真值: 判断的结果
- 真值的取值: 真或假, 二者取一
- 例:
  - “三角形内角和为180度” 是真命题
  - “郑州是山东的省会” 是假命题
  - “三角形内角和为180度吗?” 不是命题
  - “ $2 + x > 8$ ” 不是命题
  - “请不要讲话!” 不是命题
  - “地球外的星球上也有人类” 不是命题

## 13.2 命题逻辑

### ■ 命题分类

- 简单命题（原子命题）：简单陈述句构成的命题
- 复合命题：由简单命题用联结词联结而成的命题

### ■ 原子命题符号化

- P:  $2+5=7$ , P的值为1
- Q: 郑州是山东的省会, Q的值为0

### ■ 命题逻辑的语法

$Sentence \rightarrow AtomicSentence \mid ComplexSentence$   
 $AtomicSentence \rightarrow True \mid False \mid P \mid Q \mid R \mid \dots$   
 $ComplexSentence \rightarrow \langle Sentence \rangle \mid [ Sentence ]$   
|  $\neg Sentence$   
|  $Sentence \wedge Sentence$   
|  $Sentence \vee Sentence$   
|  $Sentence \Rightarrow Sentence$   
|  $Sentence \Leftrightarrow Sentence$

OPERATOR PRECEDENCE :  $\neg, \wedge, \vee, \Rightarrow, \Leftrightarrow$  优先级

## 13.2 命题逻辑-复合命题符号化

■ 命题联结词把命题与命题联结起来，构成新的复合命题

■ 例：明天有雨或有雪。郑州不是河北的省会。

■ 例：已知原子命题：

- Q: 2是素数

- R: 2是偶数

- S: 3是素数

将下列复合命题符号化

- 2是偶素数  $Q \wedge R$

- 如果2是素数，则3也是素数  $Q \Rightarrow S$

- 2是素数当且仅当3是素数  $Q \Leftrightarrow S$

■ 例：若两圆的面积相等，则它们的半径相等，反之亦然。

- 令P:两圆的面积相等，Q:两圆的半径相等

- $P \Leftrightarrow Q$



## 13.2 命题逻辑-命题符号化

“和” 例：小明和小红是同学。（原子命题）

“或” 例：1) 小明爱唱歌或爱听音乐。“兼容或”  $S \vee L$

2) 小明只能挑选308或309房间。“排斥或”

$$(T \wedge \neg U) \vee (\neg T \wedge U)$$

“蕴含” 例：

if P, then Q

P only if Q （P仅当Q, 只有Q才P, 不同于P if Q）

说明：在自然语言中，“如果P，则Q”中的前件P与后件Q具有某种因果联系，但在数理逻辑中，P与Q可以无任何内在联系。

如果 $3+3=6$ ，则雪是白色的。

## 13.2 命题逻辑-联结词

$P$	$Q$	$\neg P$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$P \Leftrightarrow Q$
false	false	true	false	false	true	true
false	true	true	false	true	true	false
true	false	false	false	true	false	false
true	true	false	true	true	true	true

例：已知 $P_{1,2}$ 为假,  $P_{2,2}$ 为真,  $P_{3,1}$ 为假, 用简单的推理过程评价一个语句的真假

$$\neg P_{1,2} \wedge (P_{2,2} \vee P_{3,1}) = \text{true} \wedge (\text{true} \vee \text{false}) = \text{true}$$

## 13.2 命题逻辑-联结词

$P$	$Q$	$\neg P$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$P \Leftrightarrow Q$
false	false	true	false	false	true	true
false	true	true	false	true	true	false
true	false	false	false	true	false	false
true	true	false	true	true	true	true

例：令  $P$ : 北京比天津人口多      1

$Q$ :  $2+2=4$       1

$R$ : 乌鸦是白色的      0

求下列复合命题的真值。

1)  $(\neg P \wedge Q) \vee (P \wedge \neg Q) \Rightarrow R$       1

2)  $(Q \vee R) \Rightarrow (P \Rightarrow R)$       0

3)  $(Q \wedge R) \Rightarrow (P \Rightarrow R)$       1

## 13.2 命题逻辑-命题公式

- 命题常量：代表一个确定的具体的命题。假，真
  - 命题变元：
    - 对命题变元的赋值或解释
  - 原子(命题)公式: 单个命题变元和命题常量。
  - (复合) 公式的递归式定义：
    1. 单个原子公式是公式；
    2. 若A是一个公式， $\neg A$ 也是公式；
    3. 若A,B是公式，则 $A \wedge B$ 等都是公式；
    4. 有限次使用123
- 判断下面符号串是否公式： $\neg (q \wedge r) \Rightarrow (q \vee \neg r)$
- $(P \wedge) \neg Q \neg P$

- 命题逻辑的局限性：不可分，不考虑对象及其关系，比如
  - RoommateCarryingUmbrella0对我们来说是有意义的，有一个对象被我们称作室友，有一个对象被我们称作Umbrella0，这两个对象之间的关系是carrying
- 要对命题逻辑进行分析，分析出其中的个体词、谓词和量词，再研究它们之间的逻辑关系。

## 13.2 一阶（谓词）逻辑

### ■ 个体、谓词、命题函数

■ 将原子命题分解为谓词和个体两部分

■ 所描述的对象称为个体

- 个体常项：具体的,  $a$   $b$   $c$ 表示

- 个体变项：抽象或泛指,  $x$   $y$   $z$  表示；个体变项的范围称为个体域或论域。

■ 用于描述个体的性质或个体间关系的部分称为谓词

- “...是素数” “... 与... 同岁”

- 谓词常项：具体

- 谓词变项：抽象或泛指

■ 命题函数和谓词的对应关系：函数对于每个对象都有一个作为关系的返回值；谓词要能判断出为真或为假

- 函数：father\_of (Mary) = Bill

- 谓词：father\_of (Mary, Bill)



## 13.2 一阶（谓词）逻辑

- 一元谓词表示个体的性质，二元表达个体之间的关系。
  - Father (x) 是一元谓词，Less (x,y) 是二元谓词。
- 二阶谓词：谓词里包含谓词
  - Tom在阿里巴巴当工程师， Works (Tom, 阿里巴巴, 工程师)
  - Works (工程师 (Tom), 阿里巴巴) 就是一个二阶谓词，其中“工程师 (Tom)” 是一阶谓词，也是个体。



## 13.3 产生式规则

- 规则：关联已知知识和待推测其他信息的知识结构
- 规则描述如何解决一个问题
- 规则结构：IF 条件（前提或前件） THEN 结论（后部或后件）
- 规则可以用AND语句、OR语句或两者组合连接起来的多个条件。结论也可以是组合。规则也可以包含一个ELSE语句。

IF 今天（时间在）上午8点以后

AND 今天是工作日

AND 我在家

OR 我的老板打来电话，说我工作迟到了

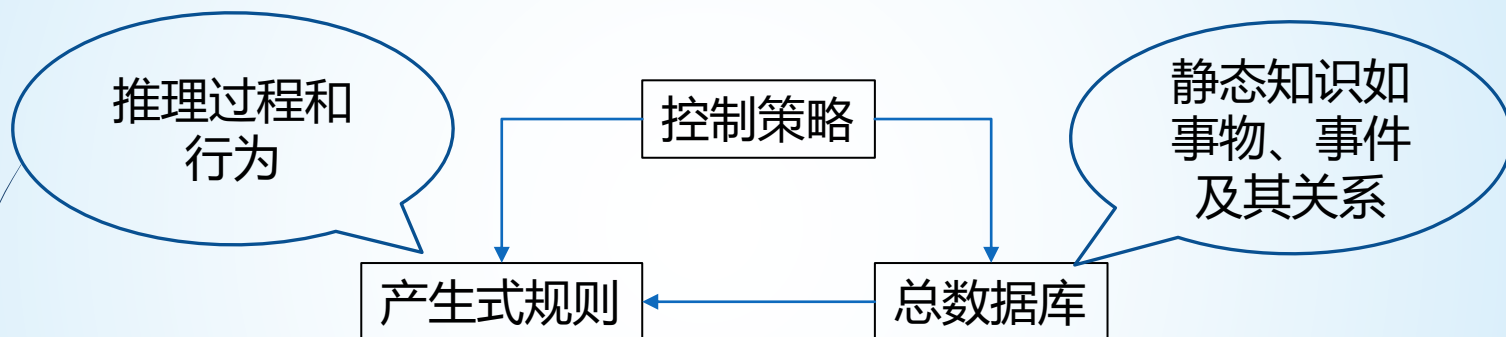
THEN 我工作迟到了

ELSE 我工作没迟到

## 13.3 产生式系统

### 产生式系统的组成：

- 定义：产生式是个描述环境和行为关系的认知心理学术语，常指规则
- 组成：总数据库、产生式规则和控制策略。

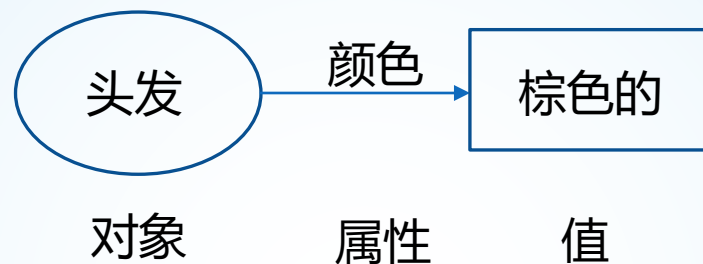


- 产生式规则：IF 前件 THEN 后件  
IF 某种动物是哺乳动物并且吃肉 THEN 这种动物被称为食肉动物  
在使用该规则之前，总数据库中必须存有“...”和“...”这两个事实
- 执行产生式规则的操作会引起总数据库的变化
- 控制策略：下一步应该选用什么规则，如何应用规则：匹配，冲突解决和操作

## 13.3 图和表格表示

### 对象-属性-值三元组 (O-A-V)

图:

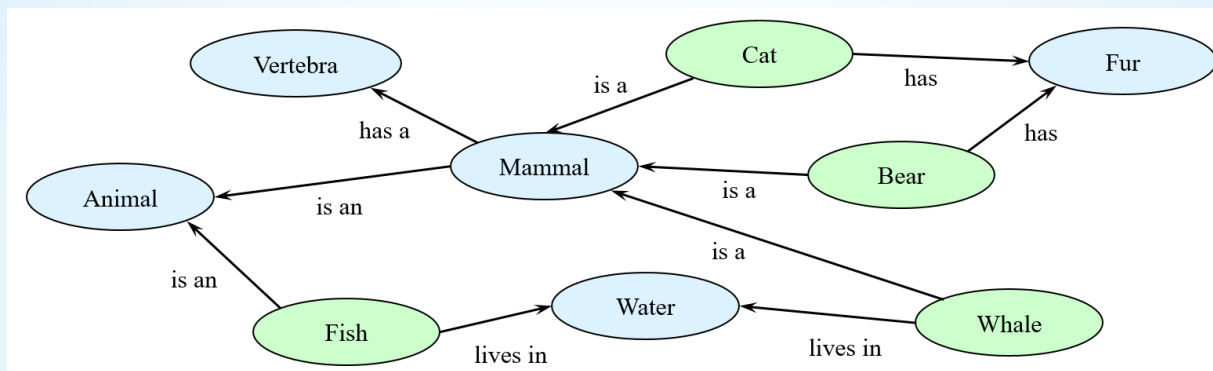


表格:

对象	属性	值
John	性别	男
John	年龄	30
John	职业	工程师

## 13.3 语义网络

语义网络是一种由节点和边组成的“有向”或“无向”图。其中，节点表示概念，边表示概念间的语义关系。将（一阶）逻辑句子表示为图的节点和边。



例:

- 猫 (Cat) 和熊 (Bear) 身上有 (has) 毛 (Fur) ;
- 猫、熊和鲸鱼 (Whale) 都是 (is a) 哺乳动物 (Mammal) ; **实例联系**
- 哺乳动物有一条脊椎 (Vertebra) ;
- 鱼 (Fish) 和鲸鱼都生活在 (lives in) 水里 (Water) ;
- 鱼和哺乳动物 (Mammal) 都是动物 (Animal) 。

## 13.3 语义网络

基于人类的认知方式，将其组织成为一个**分类层次体系**（taxonomic hierarchy）。

语义网络适用于**其知识可分解为具有语义关联关系的一组概念**。因此，适合**根据复杂的分类**进行推理，以及需要表示事件状况、性质以及动作之间关系的领域。

特点：1) 各节点之间的关系明确、简洁、直观；2) 体现了人类思维的**联想**过程，符合人们表达事物间关系的习惯；3) 将事物的属性以及事物间的语义联系显式地表示出来。

Lisp**语言**实现语义网络:

```
(defun a-semantic-net()
  ((canary (is-a bird)
            (color yellow)
            (size small))
   (penguin (is-a bird)
             (movement swim))
   (bird (is-a vertebrate)
          (has-part wings)
          (reproduction egg-laying))))
```

**保留字**, **类型**, **语义关系**

例:

- 有两种鸟 (bird) : 金丝雀 (canary) 和企鹅 (penguin), 它们都是 (is-a) 鸟;
- 金丝雀的颜色 (color) 是黄色 (yellow)、尺寸 (size) 小 (small) ;
- 企鹅的移动 (movement) 靠游泳 (swim) ;
- 鸟是一种脊椎动物 (vertebrate), 身上有 (has-part) 翅膀 (wings), 鸟的繁殖 (reproduction) 是卵生 (egg-laying)

定义：框架是一种人工智能领域中的**数据结构**，用于将知识进一步划分为子框架。是一种表示概念或对象的一成不变知识的数据结构。

**通用框架**（generic frames）：用来表示对象的类别（categories）；

**个体框架**（individual frames）：用来表示某个对象。

一个框架被分成若干个**槽**（Slot），每个槽有相应的**值**（Value）以及类型（Type）。槽的几种形式：

- 1) 事实或数据：三种类型：**关键值**（key value）、**继承值**（inheritance value）、或**实例值**（instance value）；
- 2) 指针：直接指向其它的**父框架**（parent frame）或**子框架**（sub frame）；
- 3) 过程：两种过程：IF-NEEDED，表示递延评价（deferred evaluation）；IF-ADDED，表示更新链接信息（updates linked information）。
- 4) 例外：该槽的值为异常（exception）。



例：名字叫Xiaoming（小明）的框架，父框架是Boy（男孩），出生于2013年6月1日，住在100 Zhongshan Street（中山大街100号），喜欢的食物是Chicken noodle（鸡汤面），体形Wiry（瘦而结实），意外事故导致失去一条腿。

槽 (Slot)	值 (Value)	类型 (Type)
NAME	Xiaoming	关键值 (key value)
ISA	Boy	父框架 (parent frame)
SEX	Male	继承值 (inherit value)
AGE	IF-NEEDED: Subtract(current, BIRTHDATE)	过程附件 (procedure attachment)
HOME	100 Zhongshan Street	实例值 (instance value)
BIRTHDATE	2013-06-01	实例值 (instance value)
FAVORITE_FOOD	Chicken noodle	实例值 (instance value)
BODY_TYPE	Wiry	实例值 (instance value)
NUM_LEGS	1	例外 (exception)



## 13.3 描述逻辑

- 描述逻辑（Description logic）是一系列的形式化知识表示语言，是一阶逻辑的子集。其逻辑表现能力介于经典逻辑中的命题逻辑和一阶逻辑之间。但描述逻辑针对问题设计并实现了有效的决策过程。
- 知识表示可分为两大类：
  - 一是基于逻辑形式体系的知识表示，即一阶逻辑语言；“严格”
  - 另一类是非逻辑的知识表示，如语义网络、框架。“好理解”这两类知识表示各有长短，在此背景下描述逻辑应运而生。
- 描述逻辑在人工智能中用来描述和解释应用领域中称之为术语知识（terminological knowledge）的相关概念。它为本体和语义Web等提供了逻辑形式化方法。

## 13.3 描述逻辑 例

Course  $\sqsubseteq \forall \text{enrolls. Student} \sqcap \geq 5 \text{ enrolls} \sqcap \leq 50 \text{ enrolls} \sqcap$   
           $\forall \text{taughtby. (Professor} \sqcup \text{GradStudent)} \sqcap 1 \text{ taughtby}$

AdvCourse  $\sqsubseteq \text{Course} \sqcap \forall \text{enrolls. (GradStudent} \sqcup \neg \text{UndStudent)} \sqcap \leq 20 \text{ enrolls}$

BasCourse  $\sqsubseteq \text{Course} \sqcap \forall \text{taughtby. Professor}$

GradStudent  $\sqsubseteq \text{Student} \sqcap \forall \text{degree.String} \sqcap \geq 1 \text{ degree}$

UndStudent  $\sqsubseteq \text{Student}$

描述某大学的课程，限定每门课程的最少和最多选课学生登记enrolls数量：每门课程的听课人数不能少于5人，不多于50人。授课taughtby教师为一人；  
高级课程面向研究生，人数不多于20人；  
基础课程只能由教授来授课。

# 13.3 描述逻辑

## 描述逻辑与一阶逻辑的同义词

描述逻辑 (Description Logic, DL)	一阶逻辑 (First-Order Logic, FOL)
个体 (individual)	常量 (constant)
概念 (concept)	一元谓词 (unary predicate)
角色, 关系 (role)	二元谓词 (binary predicate)

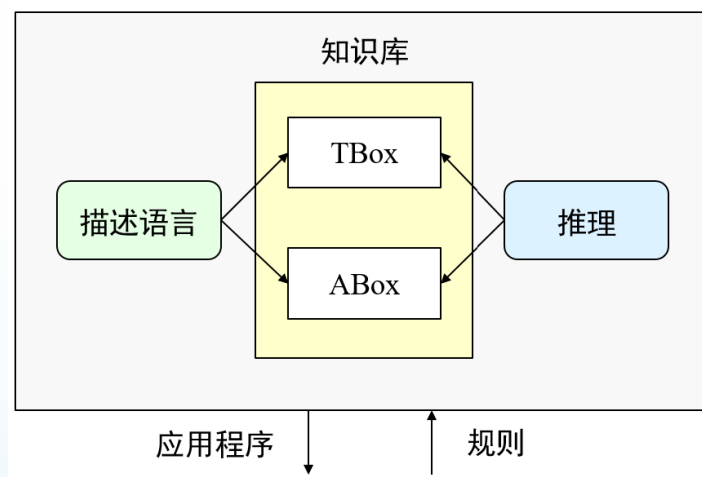
### 知识库的两个组件:

- Tbox: 容纳**术语公理** (Terminology axioms) 形式的内涵知识, 属于**模式** (schema); (定义)

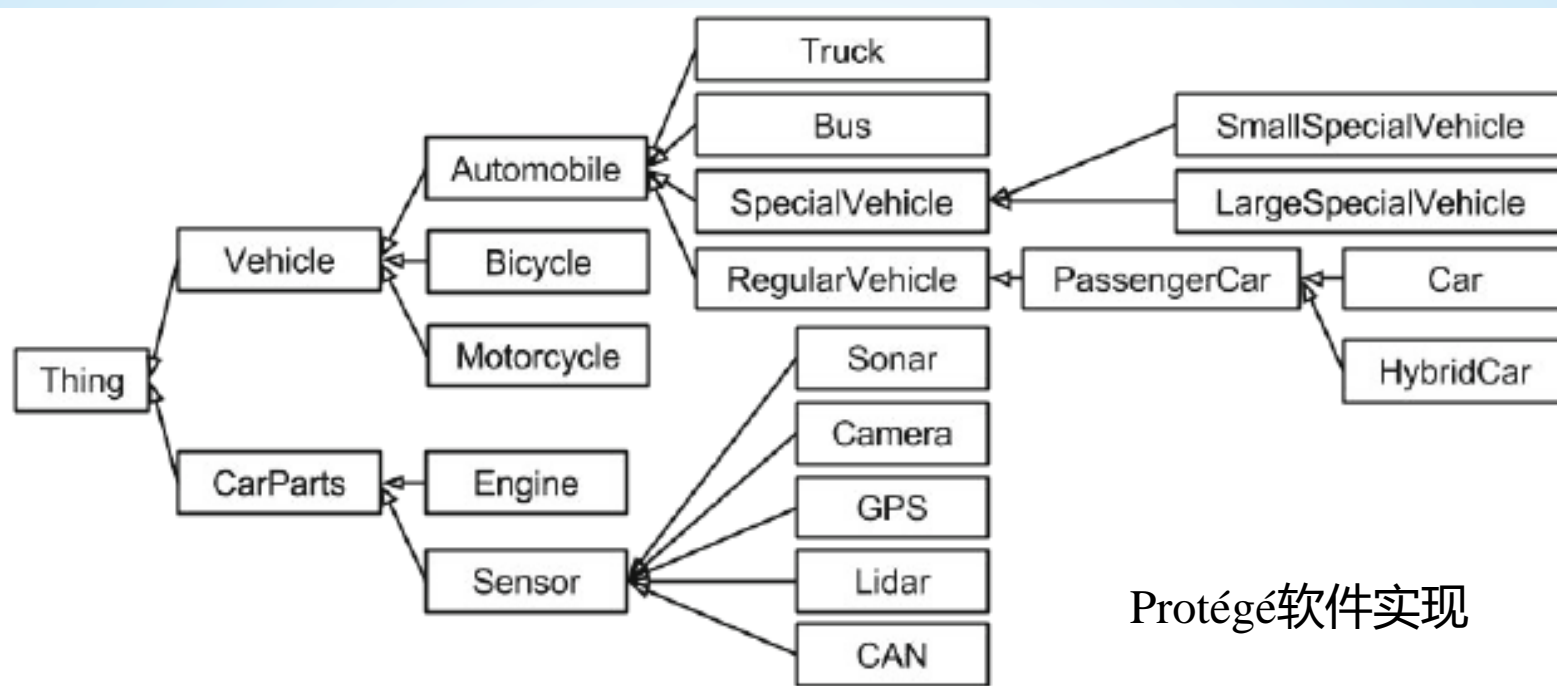
例:  $\{x | \text{Student}(x)\},$   
 $\{ \langle x, y \rangle | \text{Friend}(x, y) \}$

- ABox: 容纳**断言** (Assertions) 知识, 亦称为外延知识 (extensional knowledge), 属于**数据**。

例:  $\text{Student}(\text{Tom})$  或  $\text{Tom}:\text{Student}$   
 $\text{hasChild}(\text{John}, \text{Mary})$

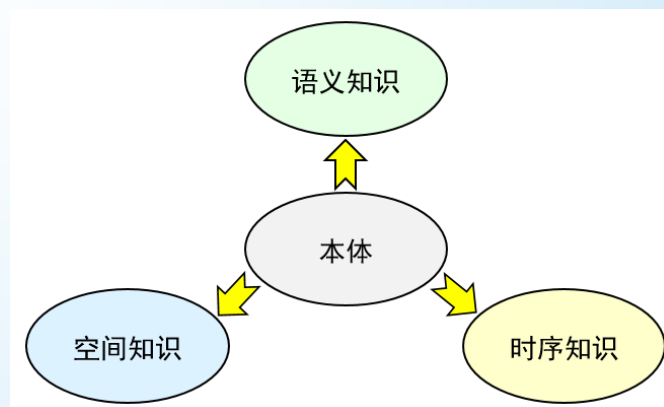


- 定义：本体（Ontology）是对某些知识体系中的**实体、类别、属性及其隶属关系**的形式化表征。
- 本体是从哲学借来的术语，亦被翻译成本体论。对于哲学，本体是对存在（existence）的系统研究；**知识等同于可证实的事实，知识表示的任务在很大程度上被视为如何表征现实世界的事实。**
- **对于人工智能**，本体则是一种**知识体系**的表征。每个领域都可以将本领域的信息组织成**知识体系**，**用名词定义实体或对象，用动词定义它们之间的关系。**
- 本体在web上的应用导致了semantic Web的诞生，其目的是解决Web上信息共享时的**语义**问题。连接的不只是文本，而是**事物**。



用本体表示结构化知识、并辅以建模环境信息：

- 语义（Semantic）知识：概念以及概念间的语义关系等
- 空间（Spatial）知识：物体的位置、形状以及尺寸等
- 时序（Temporal）知识：定性和定量表示知识的时序信息





## 13.3 资源描述框架

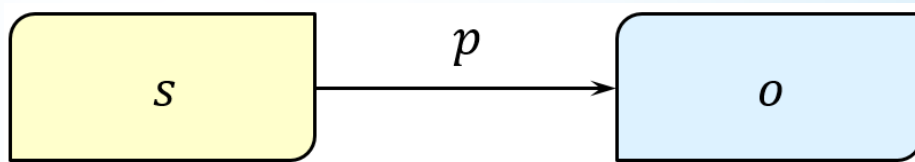
一个资源描述框架（Resource Description Framework, **RDF**）是一个有序的三元组， $RDF = \langle s, p, o \rangle$ 。其中： $s$ 表示主语， $p$ 是谓语，而 $o$ 则为宾语。

**R**esource: 页面、图片、视频等任何具有URI标识符

**D**escription: 属性、特征和资源之间的关系

**F**ramework: 模型、语言和这些描述的语法

RDF三元素的关系图：



- 国际化资源标识符IRI（Internationalized Resource Identifier）是统一资源标识符URI（Uniform Resource Identifier）的扩展，将URI中的ASCII码扩展为国际化的Unicode，已成为**新的互联网标准**。
- **RDF是一种抽象的数据模型**，是一个使用XML语法来表示的资料模型(Data model)，用来描述Web资源的特性，及资源与资源之间的关系。其数据的存储和交换有若干种文件格式，包括Turtle、**RDF/XML**等。
- **RDF**为元数据在Web上的各种应用提供一个基础结构(Infrastructure)使应用程序之间能够在Web上交换元数据，以促进网络资源的自动化处理。**已成为一种Web信息概念描述或建模的通用方法**，也被用于知识表示和管理。

定义：知识图谱（Knowledge Graph）是一种将知识组织成大型网络的知识表示方法，表现为RDF图（RDF Graph）。

一个RDF图是一个有向图，图中的节点是RDF中的主语或宾语，边是RDF中的谓语。

知识图谱源于语义网络，是一种基于图的知识表示。

谷歌公司于2012年5月16日发表知识图谱时强调，“things, not strings”，即：谷歌搜索引擎采用知识图谱后，不再是匹配字符串（strings），而是能够搜索事物（things）。

知识图谱通常与搜索引擎、语义Web、链接数据（Linked data）、大规模数据分析和云计算密切相关。

将现实世界映射到数字世界。

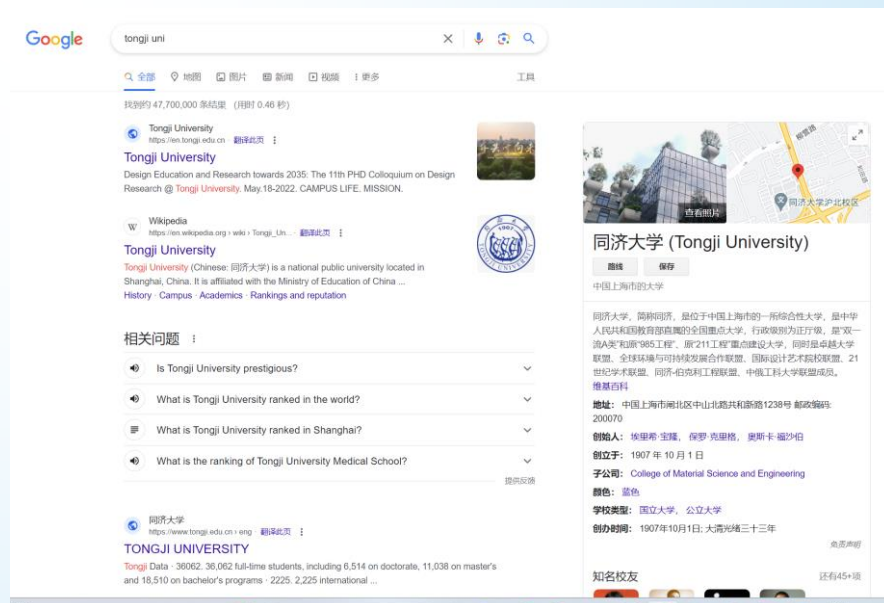


## ➤ 搜索引擎

## ➤ 知识卡片

早期互联网搜索仅仅是基于关键词的匹配，搜索时仅单纯的给出包含搜索词的网页列表，让用户去网页中寻找答案。

2012年谷歌提出知识图谱并且将其应用于语义搜索，改进搜索质量，搜索算法会在网页搜索时尽可能的链接与其相关的结构化信息。



## 13.3 知识图谱

### ► 形式化表示

可以把知识图谱理解成多关系图，就是把所有不同种类的信息连接在一起而得到的一个关系网络。

### ► 图要素

#### ► 实体

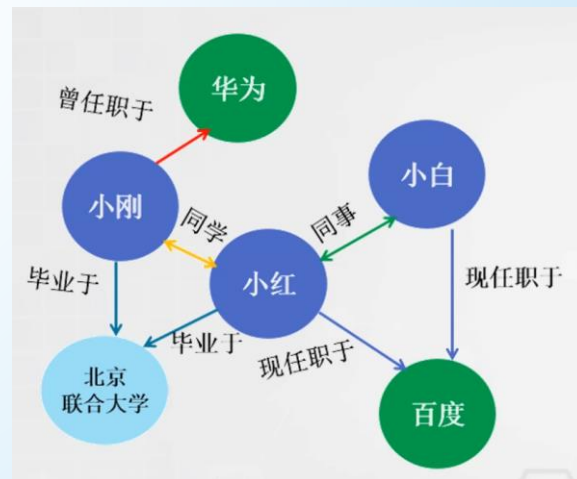
指的是现实世界中的具体事物或具体的人，比如著名的物理学家邓稼先、伟大的思想家、教育家孔子等；

#### ► 概念

指人们在认识世界过程中形成的形成的对客观事物的概念化表示，如人、动物、组织结构等；

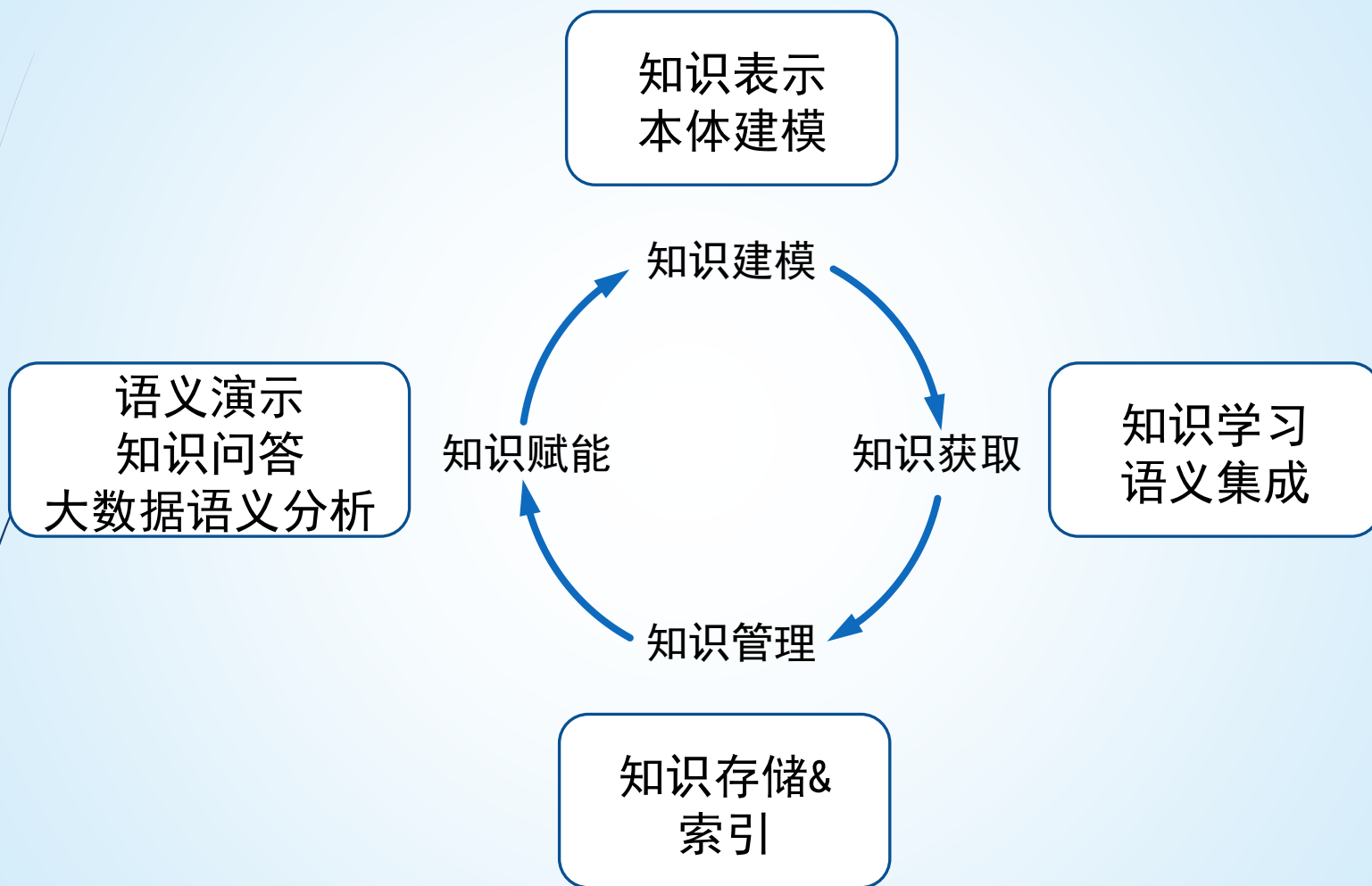
#### ► 关系

指不同实体、概念之间的联系。



# 13.3 知识图谱

## 知识图谱的构建





## 1. 判断下列句子是否为命题

- 1) 4是素数
- 2)  $x$ 大于 $y$ , 其中 $x$ 和 $y$ 是任意的两个数
- 3) 请安静!

## 2. 命题符号化, 并给出复合命题的真值

- 1) 如果 $3+3=6$ , 则雪是白色的。T
- 2) 如果 $3+3 \neq 6$ , 则雪是白色的。T
- 3) 如果 $3+3=6$ , 则雪不是白色的。F
- 4) 如果 $3+3 \neq 6$ , 则雪不是白色的。T

## 3. 列举七种确定性知识表示方法和两种不确定知识表示方法。



- 推理是人类建立在知识基础之上的高级思维活动。
- 哲学、心理学和认知科学等研究人类的推理及其论证方法。
- 人工智能则是在知识表示的基础上，研究如何使智能主体能够模仿人类的推理和论证的功能，即推理机制。
- 推理机制（Reasoning mechanism）是从已获取的知识中进行推理的机制，使知识系统能够得到新的概念、给出新的结论、以及生成新的知识。

定义：演绎推理（Deductive reasoning）是根据已知的一般性、真实性的前提，通过推理得出个别结论的推理方法。简言之，就是从**一般到特殊**的推理。

演绎推理的类型：

- 肯定前件
- 否定后件
- 三段论

	肯定前件	否定后件	三段论
大前提	$P \rightarrow Q$	$P \rightarrow Q$	$P \rightarrow Q$
小前提	$P$	$\neg Q$	$Q \rightarrow R$
结论	$Q$	$\neg P$	$P \rightarrow R$

大前提描述关于一般的知识；小前提关于个体的判断；结论是推出的适合于个体的新判断。

三段论中，只要大前提小前提是正确的，那么结论也是正确的。





定义：归纳推理（Inductive reasoning）是以个别实例为前提，推导出一般性结论的推理形式。简言之，就是从特殊到一般的推理。

类型：泛化（generalization）、统计三段论（Statistical syllogism）、简单归纳（Simple induction）、类推论证（Argument from analogy）、因果推理（Causal inference）、预测（Prediction）。

	前提	一般性结论
泛化	样本中具有属性 $a$ 的比例为 $Q$ 。	总体中具有属性 $a$ 的比例为 $Q$ 。
统计三段论	$P$ 中具有属性 $a$ 的比例为 $Q$ 。个体 $x$ 是 $P$ 的成员。	$x$ 具有属性 $a$ 的概率相当于 $Q$ 。
类推论证	$P$ 和 $Q$ 在属性 $a$ 、 $b$ 和 $c$ 上相似。 $P$ 还具有属性 $x$ 。	$Q$ 也可能具有属性 $x$ 。
预测	已观测 $G$ 中具有属性 $a$ 的比例为 $Q$ 。	待观测 $G$ 中具有属性 $a$ 的概率相当于 $Q$ 。

前提：上海动物园的猴子吃香蕉。

前提：北京.....

结论：一般来说，所有猴子都吃香蕉。

不保真





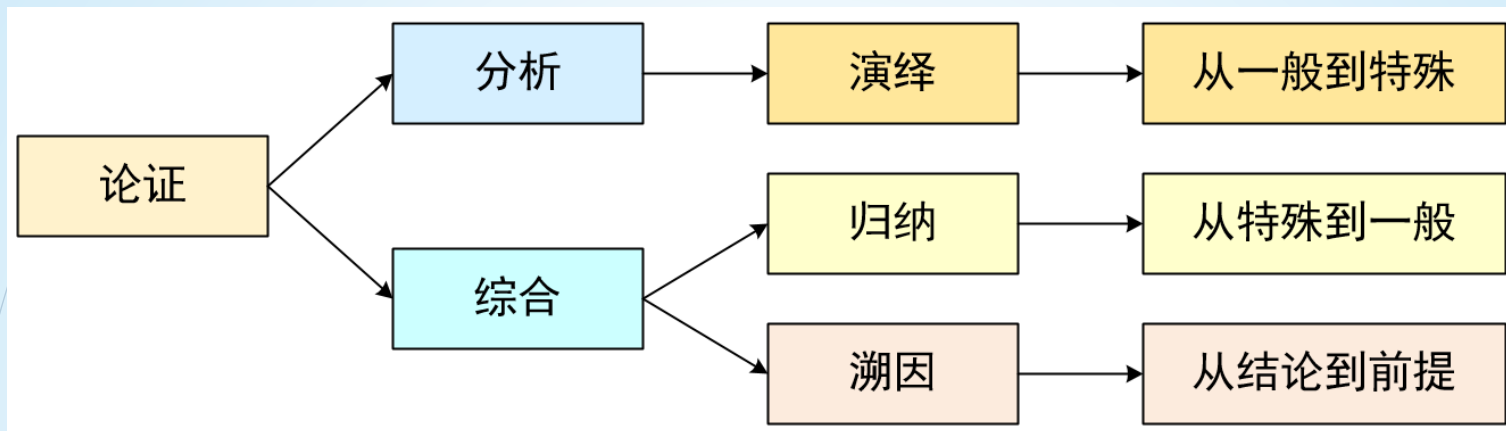
定义：溯因推理（Abductive Reasoning）是从观察到的事实出发，寻找其最有可能的前提。简言之，是从**结论到前提**的推理过程。

溯因推理从结论 $Q$ 中追溯其成因，提出假设 $P$ ，再通过论证和验证得到前提 $P$ 。

溯因推理是寻找结论之最佳解释的推理。被认为是与演绎推理和归纳推理并列的、不可或缺的三大推理形式之一。

溯因推理	推理规则
结论	$Q$
假设	$P \rightarrow Q$
前提	$P$

科学研究往往从观察到的事实出发，通过溯因推理提出该现象产生原因的假设，再对该假设进行综合论证和验证，从而得到其合理的最佳解释。



**规则** (rule) : 大前提      **实例** (case) : 小前提      **结果** (result) : 结论

模式	演绎		归纳		溯因	
举例	规则	袋里的豆都是白色的	实例	这些豆来自这个袋子	规则	袋里的豆都是白色的
	实例	这些豆来自这个袋子	结果	这些豆是白色的	结果	这些豆是白色的
	结果	这些豆是白色的	规则	袋里的豆都是白色的	实例	这些豆来自这个袋子
特点	推理的结论确保正确		推理的规则很可能正确		合理的最佳解释	



基于逻辑的知识：语句（clause）形式，每个语句构成一个规则（rule）：

Antecedents  $\Rightarrow$  Consequent

含义：若满足前提（Antecedents），则得出结论（Consequent）。

采用逻辑知识表示的知识库中，存储的是逻辑规则的集合。

推理时，给定一部分事实（facts），通过推理达到既定的目标（goal）。

基于逻辑的推理通常采用一阶逻辑的推理方式：

- 前向链接（Forward chaining）
- 后向链接（Backward chaining）



## 前向链接

定义：前向链接（Forward chaining）是从输入的事实开始，向前搜索与该事实匹配的规则，直到找到相应的目标。

亦称**前向推理**（Forward reasoning），是**事实驱动**，反复应用肯定前件的演绎推理。

## 后向链接

定义：后向链接（Backward chaining）是从目标开始后向操作，即搜索知识库中的规则，找到与目标匹配的结论，直到推断出所需要的前提。

亦称**后向推理**（Backword reasoning），是**目标驱动**，反复应用肯定前件的演绎推理。

## 前向链接 vs. 后向链接

给定规则、事实与目标：

Rule 1:  $A \wedge B \Rightarrow C$

Rule 2:  $A \Rightarrow D$

Rule 3:  $C \wedge D \Rightarrow E$

Rule 4:  $B \wedge E \wedge F \Rightarrow G$

Rule 5:  $A \wedge E \Rightarrow H$

Rule 6:  $D \wedge E \wedge H \Rightarrow I$

前  
向  
链  
接

事实数据区	匹配的规则	触发的规则
A, B, F	Rule 1, Rule 2	Rule 1
A, B, C, F	Rule 2	Rule 2
A, B, C, D, F	Rule 3	Rule 3
A, B, C, D, E, F	Rule 4, Rule 5	Rule 4
A, B, C, D, E, F, G	Rule 5	Rule 5
A, B, C, D, E, F, G, H	Rule 6	STOP

Fact 1: A

Fact 2: B

Fact 3: F

Goal 1: H

后  
向  
链  
接

事实数据区	目标数据区	匹配的规则
A, B, F	H	Rule 5
A, B, F	E	Rule 3
A, B, F	C, D	Rule 1
A, B, C, F	D	Rule 2
A, B, C, D, F	-	STOP



设A为任意命题公式

- 若A在它的任何赋值下均为真，则称A为重言式或永真式  
如:  $q \vee \neg q$
- 若A在它的任何赋值下均为假，则称A为矛盾式或永假式  
如:  $p \wedge \neg p$
- 若A不是矛盾式，则称A为可满足式(satisfiable compound proposition)。A至少存在一个成真赋值。

真值表用来判断公式类型

- 最后一列全为1，公式为重言式
- 最后一列全为0，公式为矛盾式
- 最后一列至少有一个为1，公式为可满足式。



- 定义：A、B是含有命题变元 $p_1, p_2, \dots, p_n$ 的命题公式，如果A与B等价，记作 $A \Leftrightarrow B$ 或  $A \equiv B$ ，称 $A \Leftrightarrow B$ 为等价式，则须满足以下条件：
  - 无论对 $p_1, p_2, \dots, p_n$ 作任何指派，都使得A和B的真值相同
  - 公式  $A \Leftrightarrow B$ 是重言式。
- $p \Rightarrow q \equiv \neg p \vee q$  等价（真值表可以证明）蕴含等价式
- 基本等价式





$\alpha \equiv \beta$  当且仅当  $\alpha \models \beta$  且  $\beta \models \alpha$

$(\alpha \wedge \beta) \equiv (\beta \wedge \alpha)$  commutativity of  $\wedge$

$(\alpha \vee \beta) \equiv (\beta \vee \alpha)$  commutativity of  $\vee$

$((\alpha \wedge \beta) \wedge \gamma) \equiv (\alpha \wedge (\beta \wedge \gamma))$  associativity of  $\wedge$

$((\alpha \vee \beta) \vee \gamma) \equiv (\alpha \vee (\beta \vee \gamma))$  associativity of  $\vee$

$\neg(\neg\alpha) \equiv \alpha$  double-negation elimination

$(\alpha \Rightarrow \beta) \equiv (\neg\beta \Rightarrow \neg\alpha)$  contraposition

$(\alpha \Rightarrow \beta) \equiv (\neg\alpha \vee \beta)$  implication elimination

$(\alpha \Leftrightarrow \beta) \equiv ((\alpha \Rightarrow \beta) \wedge (\beta \Rightarrow \alpha))$  biconditional elimination

$\neg(\alpha \wedge \beta) \equiv (\neg\alpha \vee \neg\beta)$  De Morgan

$\neg(\alpha \vee \beta) \equiv (\neg\alpha \wedge \neg\beta)$  De Morgan

$(\alpha \wedge (\beta \vee \gamma)) \equiv ((\alpha \wedge \beta) \vee (\alpha \wedge \gamma))$  distributivity of  $\wedge$  over  $\vee$

$(\alpha \vee (\beta \wedge \gamma)) \equiv ((\alpha \vee \beta) \wedge (\alpha \vee \gamma))$  distributivity of  $\vee$  over  $\wedge$



- 同一个逻辑内涵可以表达成**多样**的符号形式，需要一个标准
- 范式（Normal Form）：使形式多样的复合公式**统一化归为**一种规范形式的一种标准。
- 文字character: 命题变元或命题变元的否定， $p, \neg q$
- 子句clause: 有限个文字的析取（越多，含义越长）
- 短语phrase: 有限个文字的合取（越多，含义越短）
- 析取范式DNF: 有限个短语的析取式。
- 合取范式CNF: 有限个子句的合取式。



- 范式存在定理：对于任意命题公式，都存在与其等价的析取范式和合取范式。
- 求范式的方法如下：
  1. 利用等价公式，将蕴含、等价联结词用否定、合取、析取来取代。消蕴含和等价。
  2. 重复使用摩根定律将否定号移到各命题变元的前端，并消去多余的否定号。否定内移。
  3. 重复使用分配律
- 例： $(p \Rightarrow \neg q) \Rightarrow r$