



第三章 符号学派

知识表达与知识推理



华中科技大学

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

本章主要内容

1. 符号学派简介
2. 知识表示与推理的基本概念
3. 谓词逻辑的知识表示与推理
4. 产生式的知识表示与推理
5. 不确定知识表示与推理
6. 语义网络与知识图谱

符号学派

•符号学派的代表，人工智能的创始人之一约翰·麦卡锡对人工智能符号学派理

（人工智能）是关于如何制造智能机器，特别是智能的计算机程序的科学和工程。它与使用机器来理解人类智能密切相关，但人工智能的研究并不需要局限于生物学上可观察到的那些方法。

思想和观点直接继承自图灵，从功能的角度来理解智能

把智能看成为黑箱，只关心输入输出，假设知识已先验地存储于黑箱中

用知识表示和搜索来实现智能

擅长利用现有知识做推理、规划、逻辑运算和判断

符号主义

- 认知即计算
- 知识是信息的一种形式，是构成智能的基础
- 知识表示、知识推理、知识运用是人工智能的核心



Newell



Simon



华中科技大学

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

AI System = **Knowledge** + Reasoning

本章主要内容

1. 符号学派简介
2. 知识表示与推理的基本概念
3. 谓词逻辑的知识表示与推理
4. 产生式的知识表示与推理
5. 不确定知识表示与推理
6. 语义网络与知识图谱

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，不同事物或者相同事物间的不同关系形成了不同的知识。

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

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。

$$1+1=2 \quad (\text{十进制})$$

$$1+1=10 \quad (\text{二进制})$$

人工智能中知识的相对正确性更加突出：

除了人类知识本身的相对正确性外，通常还将知识限制在所求解问题的范围内，所涉及的知识对求解问题是正确的就行。

知识的特性

•2. 不确定性

由于现实世界的复杂性，信息可能精确/模糊，关联可能确定/不确定，知识于是存在“真”的程度的问题。

- 随机性引起的不确定性
- 模糊性引起的不确定性
- 经验引起的不确定性
- 不完全性引起的不确定性

“如果头痛且流涕，则有可能患了感冒”

“今天天气很热。”到底多少度是热？

经验性的专家知识很难精确表述出来。

“不存在外星人”。

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、向量等。

知识的可利用性：知识可以被利用。



知识表示就是将人类知识形式化或者模型化，把知识描述或约定成一种计算机可以接受并处理的数据结构。

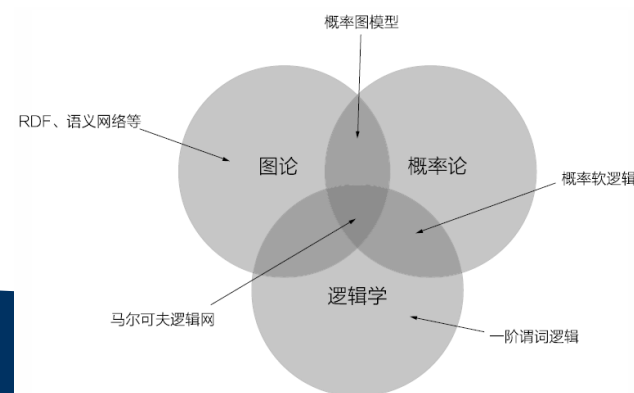
知识表示方法与利用方法相关，不存在万能的知识表示模式。

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。



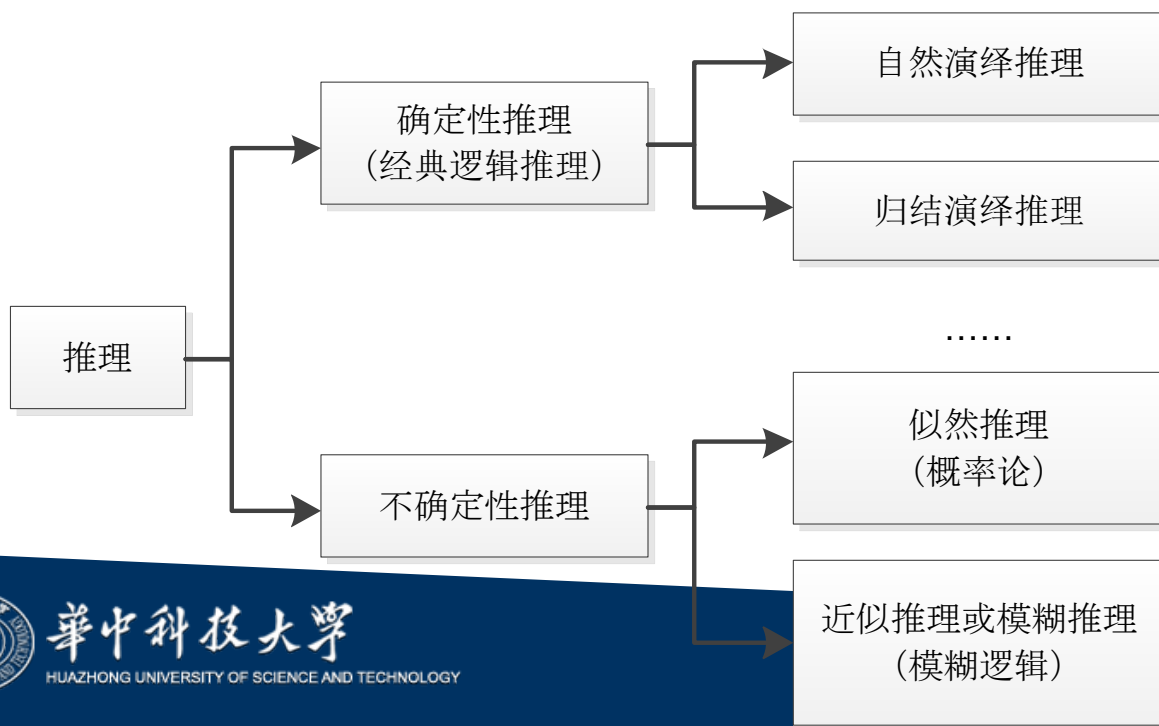
知识表示

- 人类的智能活动主要是获得并运用知识。知识是智能的基础。为了使计算机具有智能，能模拟人类的智能行为，就必须使它具有知识。**但知识需要用适当的模式表示出来才能存储到计算机中去**，因此，知识的表示成为人工智能中一个十分重要的研究课题。
- 本章将介绍一阶谓词逻辑、产生式、框架、语义网络、知识图谱等当前人工智能中应用广泛的知识表示方法，为后面介绍推理方法、专家系统等奠定基础。



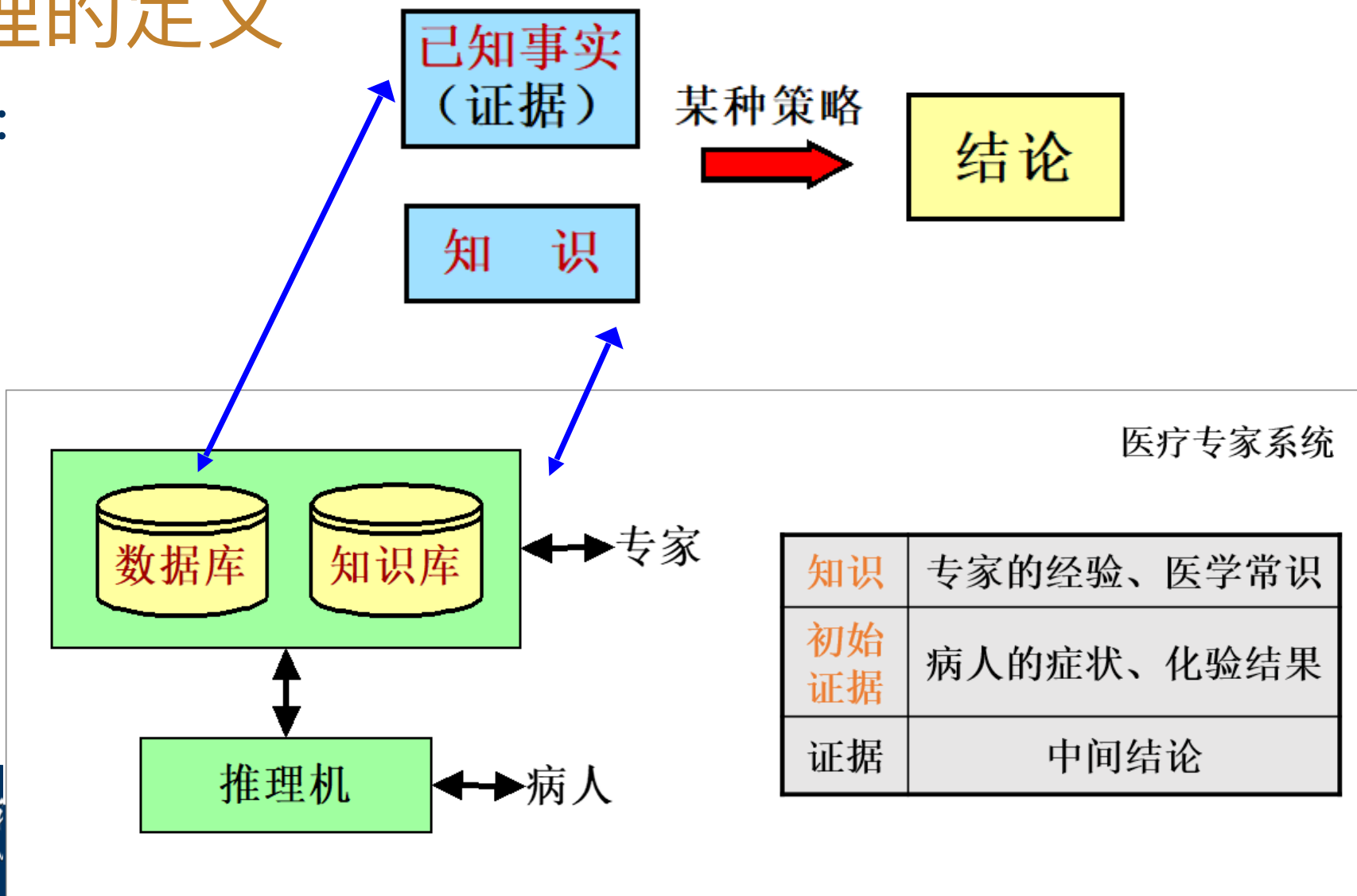
知识推理

- 知识表示（计算机掌握知识）→知识推理（具有思维能力）
- 推理是求解问题的一种重要方法
- 推理方法是人工智能的一个重要研究课题



推理的定义

• 推理：



推理方式及其分类

- 1. 演绎推理、归纳推理、默认推理

(1) **演绎推理** (deductive reasoning): 一般 \rightarrow 个别

- **三段论式** (三段论法)

① 足球运动员的身体都是强壮的; (大前提)

② 高波是一名足球运动员; (小前提)

③ 所以, 高波的身体是强壮的。 (结论)

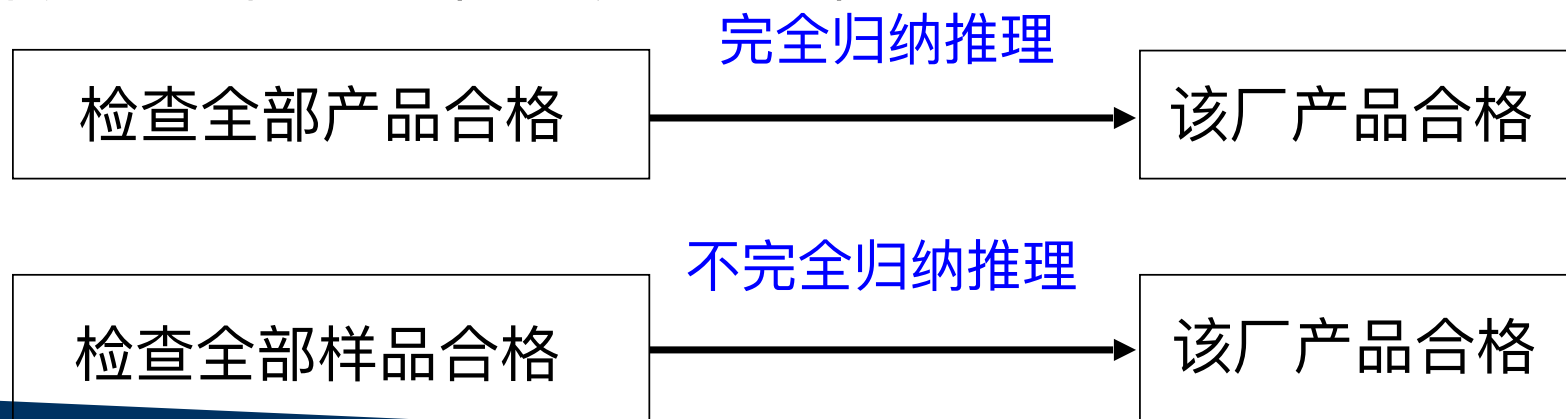
推理方式及其分类

- 1. 演绎推理、归纳推理、默认推理

(2) **归纳推理** (inductive reasoning): 个别 → 一般

{ 完全归纳推理 (必然性推理)

{ 不完全归纳推理 (非必然性推理)



推理方式及其分类

- 1. 演绎推理、归纳推理、默认推理

- (3) **默认推理** (default reasoning, 缺省推理)

知识不完全的情况下假设某些条件已经具备所进行的推理

A 成立

B 成立?



结 论

(默认 B 成立)

出门遇上下雨

下雨衣服会湿?



要带雨具

(默认 B 成立)

推理方式及其分类

- 2. 确定性推理、不确定性推理

(1) **确定性推理**：推理时所用的知识与证据都是确定的，推出的结论也是确定的，其真值或者为真或者为假。

(2) **不确定性推理**：推理时所用的知识与证据不都是确定的，推出的结论也是不确定的。

推理方式及其分类

• 3. 单调推理、非单调推理

(1) **单调推理**：随着推理向前推进及新知识的加入，推出的结论越来越接近最终目标。

(2) **非单调推理**：由于新知识的加入，不仅没有加强已推出的结论，反而要否定它，使推理退回到前面的某一步，重新开始。

基于经典逻辑的演绎推理

默认推理是非单调推理

已知X：鸟 → 默认X：会飞 →

之后知道X：企鹅 否定会飞 加入不会飞

推理方式及其分类

• 4. 启发式推理、非启发式推理

- 启发性知识：与问题有关且能加快推理过程、提高搜索效率的知识。
- 推理过程中运用与推理有关的启发性知识称为启发式推理。

■ 目标：在脑膜炎、肺炎、流感中选择一个

■ 产生式规则

r_1 : → 脑膜炎

r_2 : → 肺炎

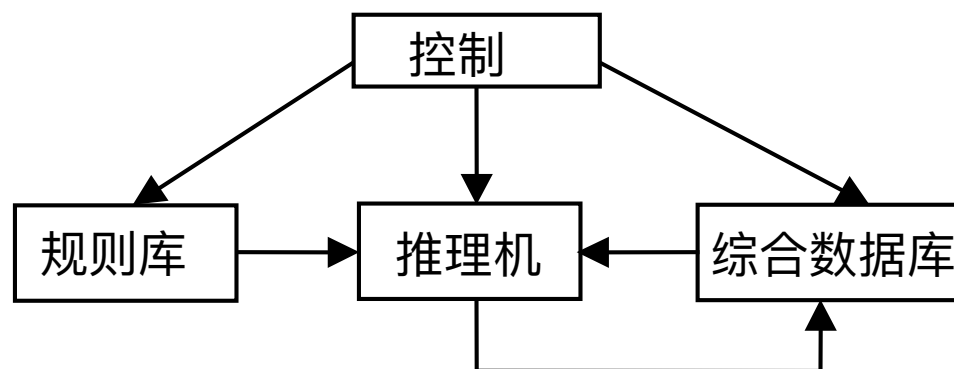
r_3 : → 流感

■ 启发式知识：“脑膜炎危险” 优先 r_1

“目前正在盛行流感” 优先 r_3

推理的控制策略

- 推理方向
- 搜索策略
- 冲突消解策略
- 求解策略
- 限制策略
-



该动物身上有：a, b, c, d

r_1 : IF 该动物有a THEN 该动物是X

r_2 : IF 该动物有b THEN 该动物是X

r_3 : IF 该动物有c THEN 该动物是Y

r_4 : IF 该动物有a AND d THEN 该动物是Y

推理的方向

- **正向推理：**（事实驱动推理）：已知事实 \rightarrow 结论
 - 从初始已知事实出发，在知识库中匹配知识进行推理，将推理出的新事实加入数据库作为下一步推理的已知事实，直到求解为止
 - 简单，易实现，目的性不强，效率低
- **逆向推理：**（目标驱动推理）：以某个假设目标作为出发点
 - 选定一个假设目标 \rightarrow 寻找支持该假设的证据 \rightarrow 找到则假设成立/找不到则重新假设
 - 目的性强，但起始目标的选择有盲目性

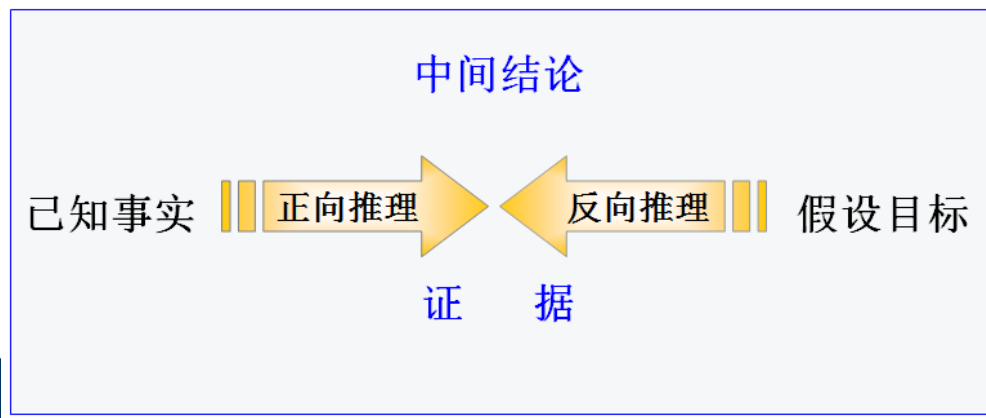
推理的方向

- **混合推理**（结合正向与逆向推理）

- 先正向后逆向：先进行正向推理，帮助选择某个目标，即从已知事实演绎出部分结果，然后再用逆向推理证实该目标或提高其可信度
- 先逆向后正向：先假设一个目标进行逆向推理，然后再利用逆向推理中得到的信息进行正向推理，以推出更多的结论
- 适用情况：已知事实不充分、正向推理得到的结论可信度不高、希望得到更多结论

- **双向推理**（同时进行正向与逆向推理）

- 正向推理和逆向推理在中途碰头时结束推理
- 困难在于碰头的判断



冲突消解策略

- 已知事实与知识的三种匹配情况：
 - (1) 恰好匹配成功（一对一）
 - (2) 不能匹配成功
 - (3) 多种匹配成功（一对多、多对一、多对多）

发生了冲突



按一定的策略从匹配成功的多个知识中
挑出一个用于当前推理

冲突消解

冲突消解策略

- 多种冲突消解策略：

- (1) 按针对性排序

- 优先先用针对性较强（要求条件较多）的产生式规则

- (2) 按已知事实的新鲜性排序

- 优先采用数据库中后生成的事实

- (3) 按匹配度排序

- 不确定性推理中，计算已知事实与知识的匹配度

- (4) 按条件个数排序

- 优先应用条件少的产生式规则，减少匹配耗时

本章主要内容

1. 符号学派简介
2. 知识表示与推理的基本概念
3. 谓词逻辑的知识表示与推理
4. 产生式的知识表示与推理
5. 不确定知识表示与推理
6. 语义网络与知识图谱

本章主要内容

- 谓词逻辑的知识表示与推理

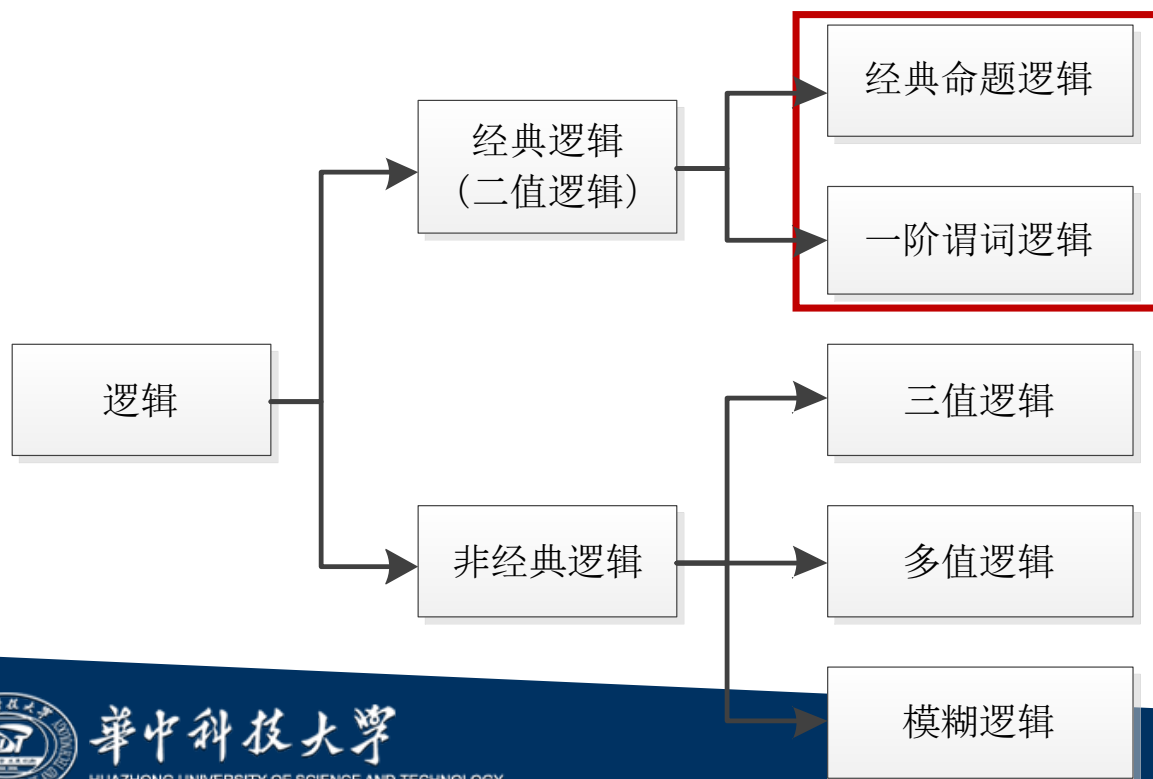
- 一阶谓词逻辑表示法

- 自然演绎推理

- 归结演绎推理

一阶谓词逻辑表示法

- 逻辑（思维的规律和规则）
- 用谓词逻辑来理解语文/表示知识



任何一个命题的真值必为
“真”或“假”其中之一

最先应用于人工智能；
在知识的形式化表示、自动
定理证明方面有重要作用

命题

- 命题逻辑是最基础的，是谓词逻辑的特殊形式
- 命题是一个非真即假的陈述句

- 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。
- 一个命题可在一种条件下为真，在另一种条件下为假。

例如： $3 < 5$

例如： $1 + 1 = 10$

例如：太阳从西边升起

命题逻辑

- 命题逻辑：研究命题及命题之间关系的符号逻辑系统

- 简单命题（原子命题）：简单陈述句表达的命题
- 复合命题：通过否定、合取、析取、条件等连接词，将原子命题构成复合命题

$\neg P$

P ：北京是中华人民共和国的首都

- 命题逻辑表示法的局限性：无法反映所描述事物的结构及逻辑特征，也不能将不同事物间的共同特征表述出来

A ：老李是小李的父亲

P ：李白是诗人

Q ：杜甫也是诗人

用命题描述事物太粗糙了→谓词

词的分类

- “词”：语义的最小单位
- 词语的不同类型：
 - 语言学上的分类：
 - （词性）名词、动词、形容词、副词、介词等等
 - （句子中的成分）主、谓、宾、定、状、补等等
 - 谓词逻辑的构成：
 - 个体词、谓词、量词、逻辑连接词（连词）、标点符号、元语言词汇

词的意思 -> 词的关系 -> 句子的意思

个体词

- 一阶谓词逻辑中，将原子命题分成主语和谓语，于是有了个体词与谓词的概念
- **个体**：独立存在的客体，具体事物，抽象事物（概念）
- **个体词**≈给个体起的名字
 - 一般会用**小写字母**来指代确定的个体
- 个体可以是**常量、变元、函数**
 - 常量：表示一个或一组指定的个体
 - 变元：不指定的一个或一组个体
 - 函数：一个个体到另一个个体的映射

谓词

- **谓词**：描述个体性质或关系的词

- 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。

“老张是一个教师”：“老张” \rightarrow 个体词 z ，“是一个教师” \rightarrow 谓词名 T

$T(z)$ 描述了个体老张是一个教师这种性质，是一个**一元谓词**，其中个体词是**常量**。

“ $x > y$ ”：**二元谓词** $Greater(x, y)$ ，其中个体词是**变元**。

谓词

“老张的儿子作为一个教师为华科工作”： $Work(son(z), hust, teacher)$ ，是三元谓词，其中 $son(z)$ 这个个体是一个函数。

谓词

有真/假

函数

无真/假，是个体域中一个个体到另一个个体的映射

知识，非结构化的文字表达的语句 \rightarrow 谓词（一定的定义和解释） \rightarrow 结构化的表达 \rightarrow 便于计算机进行判断和推理

- 一阶谓词：谓词 $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 中，若 x_i 都是个体常量、变元或函数
- 二阶谓词： x_i 又是一个一阶谓词。我们只讨论一阶谓词

量词

- 刻画谓词与个体间的关系，引入量词

- 全称量词 $\forall x$: 对个体域中的所有（或任一个）个体 x ;
- 存在量词 $\exists x$: 在个体域中存在个体 x 。

$(\forall x) A(x)$: 对于所有的 x 来说，都有性质 A

$(\exists x) A(x)$: 存在个体 x ，其有性质 A 。

- 量词非常重要，缺失了量词的句子，大多难判真假。

例如：把 A 解释为个头超过1米8， x 变元在人群中选取个体，则： $(\forall x)$

$A(x)$ 为假， $(\exists x) A(x)$ 为真。

All

Exist

量词

- 全称量词和存在量词出现在同一个命题中，量词的次序也很重要

“男人比女人高” $\rightarrow H(\text{man}, \text{woman})$ T/F?

给谓词逻辑前面加上量词：

1. $(\exists \text{man})(\forall \text{woman})$: 世界上最高的那个人是男人。
2. $(\exists \text{man})(\exists \text{woman})$: 世界上某一个男人比某一个女人要高。
3. $(\forall \text{man})(\forall \text{woman})$: 世界上最矮的那个男人比最高的女人还高。
4. $(\forall \text{man})(\exists \text{woman})$: 世界上最矮的那个人是女人。

逻辑连接词（连词）

- 无论命题逻辑还是谓词逻辑，均可用连接词把简单命题连接起来构成复合命题，表示更复杂的含义。
- 连词表示某种运算过程，所以又叫作逻辑运算符
 - (1) \neg ：“否定”（**negation**）或“非”。
 - (2) \vee ：“析取”（**disjunction**）——“或”。
 - (3) \wedge ：“合取”（**conjunction**）——“与”。
 - (4) \rightarrow ：“蕴含”（**implication**）或“条件”（**condition**）。
 - (5) \leftrightarrow ：“等价”（**equivalence**）或“双条件”（**bicondition**）。

逻辑连接词（连词）

(1) \neg : “否定” (negation) / “非”

- 否定位于它后面的命题。P为真, $\neg P$ 为假; P为假, $\neg P$ 为真。

“机器人不在2号房间”: $\neg \text{Inroom}(\text{robot}, r2)$

(2) \vee : “析取” (disjunction) —— “或”。

- 表示连接的两个命题具有“或”的关系。两个命题只要有一个为真, 析取的结果就为真, 两个命题同为假时, 结果才为假。

“李明打篮球或踢足球”:

$\text{Plays}(\text{liming}, \text{basketball}) \vee \text{Plays}(\text{liming}, \text{football})$

逻辑连接词（连词）

(3) \wedge : “合取” (conjunction) ——“与”。

- 表示连接的两个命题具有“与”的关系
- 两个命题只要有一个为假，合取的结果就为假，两个命题同为真时，结果才为真。

“我喜欢音乐和绘画”:

Like (I, music) \wedge Like (I, painting)

“小李住在一栋黄色的房子里”:

Live (li, house) \wedge Color (house, yellow)

逻辑连接词（连词）

(4) \rightarrow : “蕴含”(implication) 或“条件”(condition)。

- $P \rightarrow Q$: 如果P, 则Q。P称为条件的**前件**, Q称为条件的**后件**。

“如果刘华跑得最快, 那么他取得冠军。”:

RUNS (liuhua, faster) \rightarrow WINS (liuhua, champion)

蕴含和汉语中的“如果.....则.....”有区别! \rightarrow 前后的命题可以没有意思上的关联。

太阳从西边出来 \rightarrow 雪是白的:

Rise (sun, west) \rightarrow Color (snow, white) **T / F ?**

- 只有前件为真、后件为假时, 蕴含的结果才为假, 其余均为真。

逻辑连接词（连词）

- 只有前件为真、后件为假时，蕴含的结果才为假，其余均为真。

- (1) 我考上了清华 (A真)，爸爸也给我买了新手机 (B真)， $A \rightarrow B$ 为真，皆大欢喜。
- (2) 我考上了清华 (A真)，爸爸耍赖不给买 (B假)， $A \rightarrow B$ 为假，因为这个真的接受不了！
- (3) 我没考上清华 (A假)，爸爸给买当然好，不给买也没话说，都行吧。 $A \rightarrow B$ 都是真。

$T \rightarrow T$ **T**

$T \rightarrow F$ **F**

$F \rightarrow T$ **T**

$F \rightarrow F$ **T**

吹牛：如果你能赢我，我就跟你姓。
不接受例子：如果你考上清华，就给你买最新手机。

逻辑连接词（连词）

(5) \leftrightarrow : “等价”(equivalence)或“双条件”(bicondition)

- $P \leftrightarrow Q$ 表示: P当且仅当Q

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

谓词公式

•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

谓词公式

•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号括起来的谓词公式。
- **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。

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：个体域中的实体对谓词演算表达式的每个常量、变量、谓词和函数符号的指派。
- 对于每一个解释，谓词公式都可求出一个真值（T或F）。

命题逻辑：各个命题变元指派真值（解释），然后通过逻辑运算可求命题公式的真值。

谓词逻辑：含有**个体变元和函数**，因此首先要考虑它们在个体域中的取值，然后才能对谓词指派真值。



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1: 如果谓词公式 P 对个体域 D 上的
 P 在 D 上是永真的; 如果 P 在每个非空

■ 定义2: 如果谓词公式 P 对个体域 D 上
 P 在 D 上是永假的; 如果 P 在每个非空个体域上

■ 定义3: 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。

判断永真永假, 必须对每个个体域上的所有解释逐一判定, 当解释的个数无限时, 公式的永真永假性就很难判定了。

称

假。

谓词公式的性质

3. 谓词公式的等价性

■ 定义4：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 $P \leftrightarrow Q$ 。

(1) 交换律： $P \vee Q \leftrightarrow Q \vee P$

$$P \wedge Q \leftrightarrow Q \wedge P$$

(2) 结合律： $(P \vee Q) \vee R \leftrightarrow P \vee (Q \vee R)$

$$(P \wedge Q) \wedge R \leftrightarrow P \wedge (Q \wedge R)$$

(3) 分配律： $P \vee (Q \wedge R) \leftrightarrow (P \vee Q) \wedge (P \vee R)$

$$P \wedge (Q \vee R) \leftrightarrow (P \wedge Q) \vee (P \wedge R)$$

谓词公式的性质

(4) 德·摩根(De Morgen)定律: $\neg(P \vee Q) \leftrightarrow \neg P \wedge \neg Q$

$$\neg(P \wedge Q) \leftrightarrow \neg P \vee \neg Q$$

(5) 双重否定律 (对合律) : $\neg \neg P \leftrightarrow P$

(6) 吸收律: $P \vee (P \wedge Q) \leftrightarrow P$ $P \wedge (P \vee Q) \leftrightarrow P$

(7) 补余律 (否定律) : $P \vee \neg P \leftrightarrow T$ $P \wedge \neg P \leftrightarrow F$

(8) 连接词化规律 (蕴含、等价等值式) : $P \rightarrow Q \leftrightarrow \neg P \vee Q$

(9) 逆否律: $P \rightarrow Q \leftrightarrow \neg Q \rightarrow \neg P$

(10) 量词转换律: $\neg(\exists x) P \leftrightarrow (\forall x)(\neg P)$ $\neg(\forall x) P \leftrightarrow (\exists x)(\neg P)$

(11) 量词分配律: $(\forall x)(P \wedge Q) \leftrightarrow (\forall x)P \wedge (\forall x)Q$ 全称对应与, 存在对应或

$$(\exists x)(P \vee Q) \leftrightarrow (\exists x)P \vee (\exists x)Q$$

谓词公式的性质

非(P且Q) = (非P)或(非Q)
非(P或Q) = (非P)且(非Q)

(4) 德·摩根(De Morgen)定律: $\neg(P \vee Q) \leftrightarrow \neg P \wedge \neg Q$

$$\neg(P \wedge Q) \leftrightarrow \neg P \vee \neg Q$$

(5) 双重否定律 (对合律) :

(6) 吸收律: $P \vee (P \wedge Q) \leftrightarrow P$

(7) 补余律 (否定律) : $P \vee \neg P$

(8) 连接词化规律 (蕴含、等)

(9) 逆否律: $P \rightarrow Q \leftrightarrow \neg Q \rightarrow \neg P$

(10) 量词转换律: $\neg(\exists x) P \leftrightarrow (\forall x)(\neg P)$

$$\neg(\forall x) P \leftrightarrow (\exists x)(\neg P)$$

(11) 量词分配律: $(\forall x)(P \wedge Q) \leftrightarrow (\forall x)P \wedge (\forall x)Q$

全称对应与, 存在对应或

$$(\exists x)(P \vee Q) \leftrightarrow (\exists x)P \vee (\exists x)Q$$

否定符移到量词后面时, 全称量词变为存在量词, 存在量词变为全称量词。

例: P: 个头超过1米8.

$(\exists x) P$: 存在一个人个头超过1米8.

$\neg(\exists x) P \leftrightarrow (\forall x)(\neg P)$:

所有人个头都不超过1米8.



华中科技大学

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

谓词公式的性质

•4. 谓词公式的永真蕴含

- 定义5：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，记作 $P \Rightarrow Q$ ，且称Q为P的逻辑结论，称P为Q的前提。

一些永真蕴含式是进行演绎推理的重要规则

➤假言推理 $P, P \rightarrow Q \Rightarrow Q$ 如果P为真以及 $P \rightarrow Q$ 为真，则可推出Q为真。

例如：

P：今天下雨了。Q：地面湿了。如果今天确实下雨了，并且因为下雨地面会湿，所以可推出地面湿了。

谓词公式的性质

➤ **拒取式推理** $\neg Q, P \rightarrow Q \Rightarrow \neg P$ 如果Q为假以及 $P \rightarrow Q$ 为真，则可推出P为假。

例如：

P：今天下雨了。Q：地面湿了。地面没湿，因为下雨地面会湿，所以可推出今天没下雨。

➤ **假言三段论** $P \rightarrow Q, Q \rightarrow R \Rightarrow P \rightarrow R$ 如果 $P \rightarrow Q$ 及 $Q \rightarrow R$ 为真，则可推出 $P \rightarrow R$ 为

真。例如：

$P \rightarrow Q$ 燕子是一种鸟 $Q \rightarrow R$ 鸟都有羽毛

$P \rightarrow R$ 所以燕子是有羽毛的

谓词公式的性质

➤ **全称固化** $(\forall x)P(x) \Rightarrow P(y)$ y 为个体域中的任一个体。

例如：

$(\forall x)P(x)$: 所有人都会die... y 当然也会die ...

➤ **存在固化** $(\exists x)P(x) \Rightarrow P(y)$ y 为个体域中某一个可使 $P(y)$ 为真的个体。

例如：

$(\exists x)P(x)$: 有人长得很好看... y 代表刘亦菲长得很好看...

谓词公式的性质

➤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。

例如： P：路边树上有果子 Q：果子难吃

（果子好吃早被摘光了） $P \wedge \neg Q$ ：树上有果子且果子好吃 不可能 F

$P \Rightarrow Q$ ：所以果子难吃。

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。

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。

例如，用一阶谓词逻辑表示“每个存钱的人都得到利息”：

- (1) 定义谓词及个体：

个体 x 表示人，谓词 $S(x)$ 表示存钱，谓词 $I(x)$ 表示获得利息。

- (2) 变元赋值： $\forall x$

- (3) 连接谓词： $(\forall x)(S(x) \rightarrow I(x))$

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。

例如，用一阶谓词逻辑表示“每个存钱的人都得到利息”：

一阶谓词表示方法并不唯一：

- (1) 定义个体 x 表示人， y 表示钱， $S(x,y)$ 表示 x 存了 y 钱， $I(u)$ 表示 u 是利息， $O(x,u)$ 表示 x 获得了 u 钱

$$(\forall x)((\exists y)(S(x,y)) \rightarrow (\exists u)(I(u) \wedge O(x,u)))$$

一阶谓词逻辑知识表示方法

•将自然语言翻译为谓词逻辑语言：

➤本课程的所有学生都很聪明。

$(\forall x)(C(x) \rightarrow S(x))$ 。对所有 x 来说，如果 x 是本课程学生， x 就很聪明。

➤本课程的有些学生是女生。

$(\exists x)(C(x) \wedge G(x))$ 。存在个体 x ， x 是本课程学生，且是女生。

➤这个世界上不存在龙。

$\neg(\exists x)L(x)$ ，不存在个体 x ， x 是龙。

➤所有的父母生气时就会发脾气。

$(\forall x)(P(x) \wedge A(x) \rightarrow T(x))$ 。对于所有的 x 来说，如果 x 是父母并且生气，那么 x 就会发脾气。

一阶谓词逻辑知识表示的特点

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

应用:

- 自动问答系统 (Green等人研制的QA3系统)
- 机器人行动规划系统 (Fikes等人研制的STRIPS系统)
- 机器博弈系统 (Filman等人研制的FOL系统)
- 问题求解系统 (Kowalski等设计的PS系统)

一阶谓词逻辑知识表示方法

•将自然语言翻译为谓词逻辑语言：

- 有些泳池要么就是不干净，要么就是很拥挤。
- 玫瑰花和梅花都是花。
- 有一些老师会很高兴，当且仅当有一些同学学习很好。
- 所有父母都爱他们的孩子
- 中国人都有黑头发和棕色的瞳孔
- 骡子既不是马也不是驴
- 不是所有学生都喜欢微积分和概率统计
- 如果有学生发表了顶会，他的老师会很开心
- 只有一个学生考试不及格*

