



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

人工智能技术导论

第二章 知识表示

目 录



2.1 概念表示

2.2 知识表示

2.3 推理与专家系统

2.4 知识图谱



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

2.1 概念表示



概念表示



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

对于人工智能而言，知识是最重要的部分，知识是由概念组成的，概念是构成人类知识世界的基本单元。

➤ 1953年之前，一般认为概念能准确定义，而有些缺少准确定义的概念是由于研究不够深入、没有发现而已。

➤ 1953年维特根斯坦发表《哲学研究》，认为不是任何概念都可以被精确定义。比如猫、狗并不能被精确定义。

概念的经典定义方法：就是可以给出一个命题，而命题就是非真即假的陈述句。一个经典概念由三部分组成，即概念名、概念的内涵表示、概念的外延表示。

- ◆ **概念名：**用词语来表示，属于符号世界；
- ◆ **内涵表示：**用命题来表示，人类主观世界对概念的认知；
- ◆ **外延表示：**是一个由满足概念的内涵表示的对象构成的经典集合。



概念的经典表示例子

例1:

- ◆ 符号表示：偶数
- ◆ 内涵表示：只能被2整除的自然数
- ◆ 外延表示： $\{0, 2, 4, 6, 8, 10, \dots\}$

例2:

- ◆ 符号表示：英文字母
- ◆ 内涵表示：英语单词里使用的字母符号（不区分字体）
- ◆ 外延表示： $\{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z\}$



命题 (Proposition)

命题：真假值唯一确定的陈述句

不是所有的语句都是命题：

(1) 您去电影院吗？

(2) 看花去！

(3) 天鹅！

(4) 这句话是谎言。

(5) $x=2$ 。

不是命题

不能判断真假，既不能说为真，也不能说为假——悖论。

真假依赖 x 的取值，不能确定。

(6) 两个奇数之和是奇数。

(7) 欧拉常数是无理数。

(8) 如果下雨，则我打伞。

(9) 李白要么擅长写诗，要么擅长喝酒。

是命题



概念表示



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

- 原子 (atomic) 命题: 又称简单 (simple) 命题, 不含联结词的命题。
- 复合 (compound) 命题: 含联结词的命题。

- 我痛**但**快乐着。
- **如果**天气好, 我**就**去锻炼。
- 老张**或**老李中的一个人去出差, **当且仅当**不是他们**都**去**或者**都不去。

在日常生活中, 经常使用的命题大多不是简单命题, 而是通过连词联结的命题。

联结词(connective)

合取联结词: \wedge

析取联结词: \vee

否定联结词: \neg

蕴涵联结词: \rightarrow

等价联结词: \leftrightarrow

逻辑真值: 0, 1 或 F, T

自然语言联结词

与, 并且, 而且, 也

或, 要么...要么...

非, 不

如果...就..., 当, 只有...才..., 除非...不, 若...则...

当且仅当



概念表示



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

- **否定联结词：** 设 p 为一个命题, 复合命题“非 p ”称为 p 的否定式, 记为 $\neg p$, “ \neg ”称为否定联结词。“ $\neg p$ ”为真, 当且仅当 p 为假。 一元联结词
- **合取联结词：** 设 p 、 q 为两个命题, 复合命题“ p 而且 q ”称为 p 、 q 的合取式, 记为 $p \wedge q$, “ \wedge ”称作合取联结词。 $p \wedge q$ 真, 当且仅当 p 与 q 同时真。 二元联结词
- **析取联结词：** 设 p 、 q 为两个命题, 复合命题“ p 或者 q ”称为 p 、 q 的析取式, 记为 $p \vee q$, “ \vee ”称作析取联结词。 $p \vee q$ 为真, 当且仅当 p 与 q 中至少有一个为真。 二元联结词
- **蕴涵联结词：** 设 p 、 q 为命题, 复合命题“如果 p , 则 q ”称为 p 对 q 的蕴涵式, 记作 $p \rightarrow q$, 其中又称 p 为此蕴涵式的前件, 称 q 为此蕴涵式的后件, “ \rightarrow ”称为蕴涵联结词。“ $p \rightarrow q$ ”假, 当且仅当 p 真而 q 假。 二元联结词
- **等价联结词：** 设 p 、 q 为命题, 复合命题“ p 当且仅当 q ”称作 p 、 q 的等价式, 记作 $p \leftrightarrow q$, “ \leftrightarrow ”称作等价联结词。 $p \leftrightarrow q$ 真, 当且仅当 p 、 q 同时为真或同时为假。 二元联结词



说明

- ✓ 以上联结词组成的复合命题的真假值一定要根据它们的定义去理解，而不能根据日常语言的含义去理解。
- ✓ 不能“对号入座”，如见到“或”就表示为“ \vee ”。
- ✓ 有些词含义不同，但也可表示为这五个联结词，如“但是”也可表示为“ \wedge ”。

命题符号化

例1: 李白要么擅长写诗，要么擅长喝酒

p: 李白擅长写诗

q: 李白擅长喝酒

$p \vee q$

例2: 任何人都会死，苏格拉底是人，
因此，苏格拉底会死的。

p: 任何人都会死

q: 苏格拉底

r: 苏格拉底是会死的

前提: p、q 结论: r

$(p \wedge q) \rightarrow r$



谓词 (Predicate)

谓词（关系）：表示性质、关系等，相当于句子中的谓语。用大写英文字母 F, G, H, \dots ，后跟括号与变元来表示。例： $F(x)$: x 是人。 $G(x, y)$: x 与 y 是兄弟。

n 元谓词：含有 n 个变元。 例： $F(x)$ 是一元谓词， $G(x, y)$ 是二元谓词。

➤ 个体词

可以独立存在的客体，可以是一个具体事物，也可以是一个抽象概念。

➤ 个体常项(constant)

表示具体的特定对象，用小写英文字母 a, b, c, \dots 来表示。

例如： a :王大明， b :王小明， $G(x, y)$: x 与 y 是兄弟， “王大明与王小明是兄弟”： $G(a, b)$

➤ 个体变项(variable)

表示不确定的泛指对象，用小写英文字母 x, y, z, \dots 来表示。

例如： $F(x)$: x 是人。 $G(x)$: x 是数。 “存在着人”： $\exists x, F(x)$ “万物皆数”： $\forall x, G(x)$

➤ 量词(quantifier)

- 全称(universal)量词： \forall “所有的”，“全部的”，...
- 存在(existential)量词： \exists “有一些的”，“某些的”，...
- 唯一(unique)存在量词： $\exists!$ “恰好存在一个”，...



概念表示



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

➤ 函数(function)

定义域与值域都是个体域，用小写英文字母 f, g, h, \dots 后跟括号与变元来表示。

例如： $f(x)$: x 的二倍。 $g(x, y)$: x 加 y 。

n 元函数：含有 n 个变元 例如： $f(x)$ 是一元函数， $g(x, y)$ 是二元函数。

➤ 个体域

- 个体域（**scope**论域）：个体词的取值范围，缺省 (default)采用全总个体域。
- 全总个体域：世界上的万事万物。
- 特性谓词：表示所关注的对象的性质。

- ✓ 谓词、函数一般要求有一定的客体(个体词) 如： $L(x, y)$ $f(a, b)$ 。
- ✓ 函数的取值在个体域中，关系的取值只有“T”和“F”。
- ✓ 若含有多个个体词，则论序不可颠倒。如： $L(x, y)$ 与 $L(y, x)$ 不同， $f(x, y)$ 与 $f(y, x)$ 也不同。
- ✓ 有时函数也可用关系表示。如： $x+y=z$ $E(x, y, z)$ 或 $f(x, y)$ 表示 $x+y$
- ✓ 命题逻辑中的联结词同样出现在一阶逻辑中。



谓词符号化(举例)

例1: “有些人是要死的”

解1: 采用全总个体域.

设: $F(x)$: x 是人; $G(x)$: x 是要死的.

原命题符号化成: $\exists x, (F(x) \wedge G(x))$

解2: 采用全体人作为个体域.

设: $G(x)$: x 是要死的.

原命题符号化成: $\exists x, G(x)$

命题符号化

■ 采用全总个体域时需要特性谓词:

表示所关注的对象的性质

■ 两种模式: $\forall x(M(x) \rightarrow G(x))$

$\exists x(M(x) \wedge G(x))$ 其中 $M(x)$ 是特性谓词。

用来限定个体变项的个体域的
谓词成为特性谓词

对于全称量词, 个体变项的特性谓词与其对应的谓词之间的关系是蕴涵关系。

对于存在量词, 个体变项的特性谓词与其对应的谓词之间的关系是合取关系。

例: 两个奇数之和是奇数。

$F(x)$: x 是奇数

$\forall x \forall y (F(x) \wedge F(y) \rightarrow F(x+y))$

例: 凡人都是要死的。苏格拉底是人。苏格拉底是要死的。

$F(x)$: x 会死 $M(x)$: x 是人; a : 苏格拉底

$(\forall x (M(x) \rightarrow F(x)) \wedge M(a)) \rightarrow F(a)$

注意: 多个量词同时出现时, 不能随意颠倒次序 $\forall x \exists y (x < y)$ $\exists x \forall y (x < y)$



集合论

集合：数学中一个基本概念，也是集合论的主要研究对象。集合论的基本理论创立于19世纪，关于集合的最简单的说法就是在朴素集合论（最原始的集合论）中的定义，即集合是“确定的一堆东西”。

现代集合一般定义：由一个或多个确定的元素(element)或成员(member)所构成的整体。

用大写英文字母A, B, C, ...表示集合，

用小写英文字母a, b, c, ...表示元素。

$a \in A$ ：表示a是A的元素，读作“a属于A”

$a \notin A$ ：表示a不是A的元素，读作“a不属于A”

► 列举表示法

◆ 列出集合中的全体元素，元素之间用逗号分开，然后用花括号括起来

例如： $A = \{a, b, c, d, \dots, x, y, z\}$

$B = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$

◆ 集合中的元素不规定顺序

$C = \{2, 1\} = \{1, 2\}$

◆ 集合中的元素各不相同(多重集除外)

$C = \{2, 1, 1, 2\} = \{2, 1\}$



概念表示



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

► 谓词表示法

◆ 用谓词 $P(x)$ 表示 x 具有性质 P ，用 $\{x \mid P(x)\}$ 表示具有性质 P 的集合

例如： $P_1(x)$: x 是英文字母

$$A = \{x \mid P_1(x)\} = \{x \mid x \text{ 是小写英文字母}\} = \{a, b, c, d, \dots, x, y, z\}$$

$P_2(x)$: x 是十进制数字

$$B = \{x \mid P_2(x)\} = \{x \mid x \text{ 是十进制数字}\} = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$$

◆ 两种表示法可以互相转化

$$E = \{2, 4, 6, 8, \dots\} = \{x \mid x > 0 \text{ 且 } x \text{ 是偶数}\}$$

$$= \{x \mid x = 2(k+1), k \text{ 为非负整数}\}$$

$$= \{2(k+1) \mid k \text{ 为非负整数}\}$$

有些书在列举法中用“:” 代替“|”

$$\{2(k+1): k \text{ 为非负整数}\}$$



概念表示



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

n元集(n-set)

- ◆ n元集: 含有n个元素的集合称为n元集
- ◆ 0元集: \emptyset
- ◆ 1元集(或单元集), 如 $\{a\}, \{b\}, \{\emptyset\}, \{\{\emptyset\}\}, \dots$
- ◆ $|A|$: 表示集合A中的元素个数, A 是n元集 $\Leftrightarrow |A|=n$
- ◆ 有限集(finite set): $|A|$ 是有限数, $|A|<\infty$, 也叫有穷集。

幂集(power set)

幂集: A的全体子集组成的集合, 称为A的幂集, 记作 $P(A)$

$$P(A)=\{x|x \subseteq A\}$$

注意: $x \in P(A) \Leftrightarrow x \subseteq A$ 例: $A=\{a,b\}, P(A)=\{\emptyset, \{a\}, \{b\}, \{a,b\}\}$

幂集计数问题

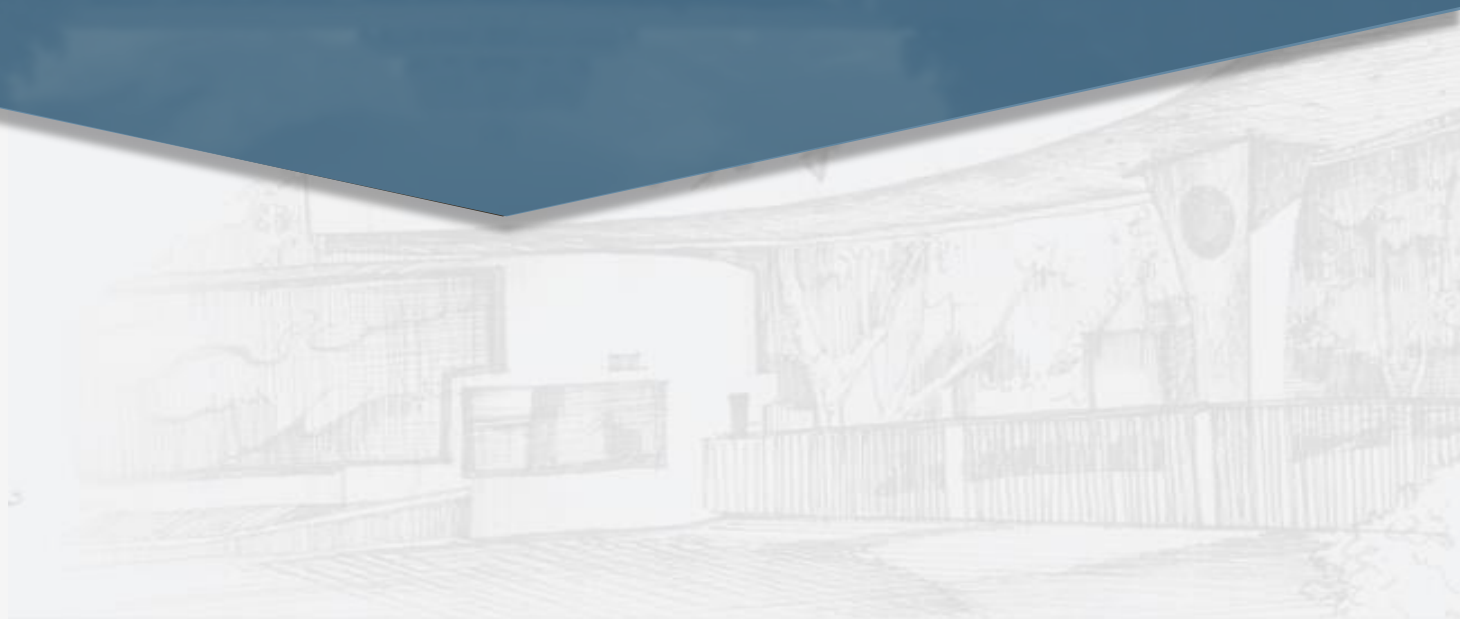
全集: 如果限定所讨论的集合都是某个集合的子集, 则称这个集合是全集, 记作 E 。全集是相对的, 视情况而定, 因此不唯一。

例如: 讨论 (a,b) 区间的实数性质时, 可选 $E=(a,b)$ 。



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

2.2 知识表示





知识是在人们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。反映了客观世界中事物之间的关系，把有关信息关联在一起所形成的信息结构。

“如果头疼且流涕，则有可能患了感冒” --- **规则**

“雪是白色的” ----- **事实**

知识的特性

➤ 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。

冯梦龙《警世通言》有一篇《王安石三难苏学士》：有一天，苏轼到王安石那里拜会，恰好他不在，苏轼在看到了王安石一首还未有完成的诗：“西风昨夜过园林，吹落黄花满地金。”苏轼就想，菊花开在秋里，其性属火，敢傲秋霜，最能耐久，就是干枯，也不会落瓣，于是就在后写到，“秋花不比春花落，说与诗人仔细听。”王安石回家后见到苏轼的题句，心里也暗笑苏轼对事物观察的不仔细、全面，《离骚》中就有“夕餐秋菊之落英”的诗句，何谓菊花无落英？这事直到苏轼在黄州和朋友饮酒赏菊时在弄清楚。



知识的特性

► 不确定性

现实世界的复杂性，信心可能是不精确的、关系可能是不确定的。

■ 随机性引起的不确定性

“如果头疼且流涕，则有可能患了感冒”

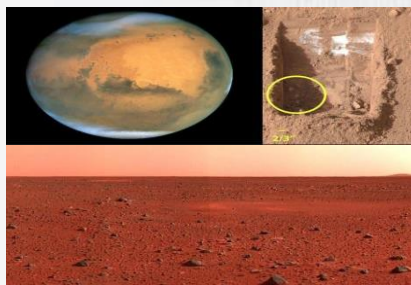
■ 模糊性引起的不确定性

“张三的学习成绩比较好”

■ 经验性引起的不确定性

老马识途：齐桓公应燕国要求出兵攻打山戎，迷路后放出老马，部队跟随老马找到出路。

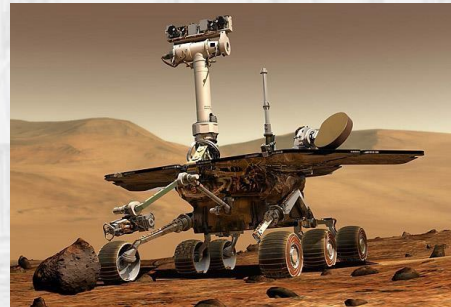
■ 不完全性引起的不确定性



火星上有水、生命？



模糊的概念





知识的特性

➤ 可表示性与可利用性

知识的可表示性是指知识可以适当形式表示出来，如用语言、文字、图形、神经网络等，这样才能被存储、传播。知识的可用性是指知识可以被利用，每个人天天都在利用知识来解决问题。

知识表示的概念

知识表示（Knowledge Representation）：将人类知识形式化或者模型化。

知识表示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。

- 产生式表示法
- 框架表示法
- 状态空间表示法



➤ 产生式表示法

1943年美国数学家波斯特（E. Post）首先提出。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。

■ 确定性规则的产生式表示

基本形式: **IF** P **THEN** Q

或者: $P \rightarrow Q$

例: r_4 : **IF** 会飞 **AND** 会下蛋 **THEN** 是鸟

■ 不确定性规则的产生式表示

基本形式: **IF** P **THEN** Q (置信度)

或者: $P \rightarrow Q$ (置信度)

例: r_4 : **IF** 发烧 **THEN** 感冒 (置信度)

■ 确定性事实的产生式表示

三元组表示: (对象, 属性, 值)

或者: (关系, 对象1, 对象2)

例: 老李年龄是40岁: (Li, age, 40)

老李和老张是朋友: (friend, Li, Zhang)

■ 不确定性事实的产生式表示

四元组表示: (对象, 属性, 值, 置信度)

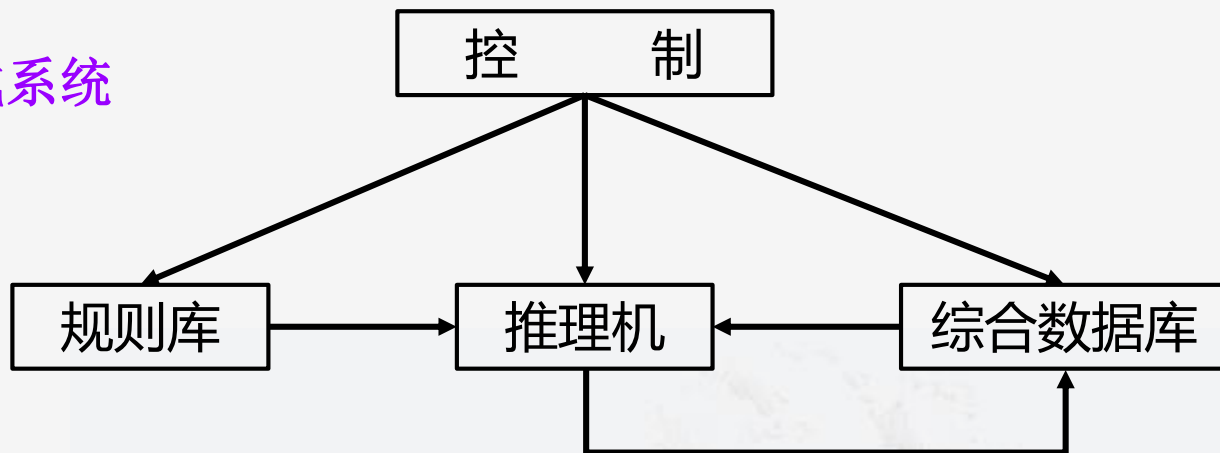
或者: (关系, 对象1, 对象2, 置信度)

例: 老李年龄很可能是40岁: (Li, age, 40, 0.8)

老李和老张不大可能是朋友: (friend, Li, Zhang, 0.1)



产生式系统



规则库：用于描述相应领域内知识的产生式集合。

推理机：由一组程序组成，负责整个产生式系统的运行，实现对问题的求解。

综合数据库(事实库、上下文、黑板等)：用于存放问题求解过程中各种当前信息的数据结构。

- 从规则库中选择与综合数据库中的已知事实进行匹配。
- 匹配成功的规则可能不止一条，进行冲突消解。
- 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。
- 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。
- 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。



产生式表示法的特点



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

产生式表示法的优点

自然性
模块性
有效性
清晰性

产生式表示法的缺点

效率不高
不能表达结构性知识

适合产生式表示的知识

- 1) 领域知识间关系不密切，不存在结构关系。
- 2) 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。
- 3) 领域问题的求解过程可被表示为一系列相对独立的操作，且每个操作可被表示为一条或多条产生式规则。



➤ 框架表示法

1975年美国明斯基提出了框架理论——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。

框架表示法是一种结构化的知识表示方法，已在多种系统中得到应用。

- 框架（frame）是一种描述所论对象（一个事物、事件或概念）属性的数据结构。
- 一个框架由若干个被称为“槽”（slot）的结构组成，每一个槽又可根据实际情况划分为若干个“侧面”（faced）。

- 一个槽用于描述所论对象某一方面的属性。一个侧面用于描述相应属性的一个方面。

- 槽和侧面所具有的属性值分别被称为槽值和侧面值。

<框架名>

槽名1：	侧面名 ₁₁	侧面值 ₁₁₁ , ... , 侧面值 _{11P1}
	侧面名 _{1m}	侧面值 _{1m1} , ... , 侧面值 _{1mPm}
槽名n：	侧面名 _{n1}	侧面值 _{n11} , ... , 侧面值 _{n1P1}
	侧面名 _{nm}	侧面值 _{nm1} , ... , 侧面值 _{nmPm}
约束：	约束条件 ₁	
	约束条件 _n	



例3.1：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） 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

把具体信息填入槽或侧面后，就得到了相应框架的一个**事例框架**



框架名：〈教师-1〉

姓名：夏冰 年龄：36

性别：女

职称：副教授

部门：计算机软件教研室

住址：〈adr-1〉

工资：〈sal-1〉

开始工作时间：1988，9

截止时间：1996，7



例3.2: 将下列一则地震消息用框架表示：“某年某月某日，某地发生6.0级地震，若以膨胀注水孕震模式为标准，则三项地震前兆中的波速比为0.45，水氡含量为0.43，地形改变为0.60。”



框架名：〈地震〉

地 点：某地

日 期：某年某月某日

震 级：6.0

波 速 比：0.45

水氡含量：0.43

地形改变：0.60

框架表示法特点

➤ 结构性

便于表达结构性知识，能够将知识的内部结构关系及知识间的联系表示出来。

➤ 继承性

框架网络中，下层框架可继承上层框架的槽值，也可以进行补充和修改。

➤ 自然性

框架表示法与人在观察事物时的思维活动是一致的。



知识表示



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

➤ 状态空间表示法

利用状态变量和操作符号，表示系统或问题的有关知识的符号体系，
状态空间是一个四元组：

$$(S, O, S_0, G)$$

S : 状态集合。

O : 操作算子的集合。

S_0 : 包含问题的初始状态是 s 的非空子集

G : 若干具体状态或满足某些性质的路径信息描述

求解路径：从 S_0 结点到 G 结点的路径；

状态空间的一个解：一个有限的操作算子序列。

例3：八数码问题的状态空间

2	3	1
5		8
4	6	7

初始状态



1	2	3
8		4
7	6	5

目标状态

操作算子：

将空格向上移 Up

将空格向左移 Left

将空格向下移 Down

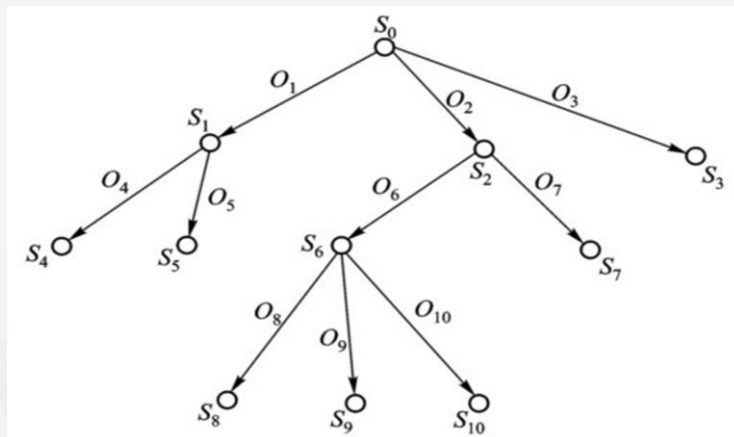
将空格向右移 Right

状态集 S ：所有摆法；一个状态一个摆法。



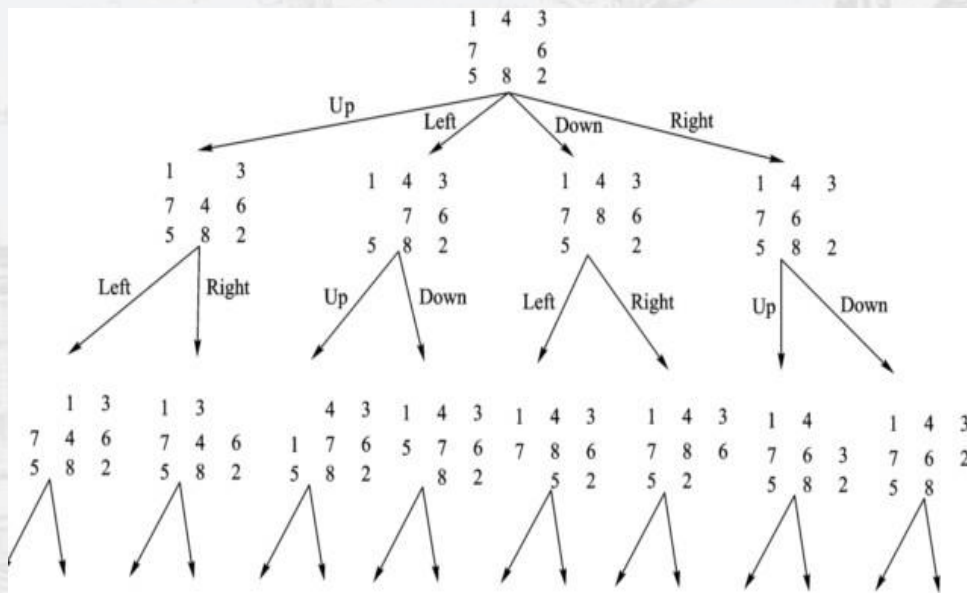
状态空间的图描述

状态空间可用有向图来描述，节点表示状态，弧表示状态之间的关系。初始状态是已知信息，即根节点。寻找从一种状态状态转换为另一种状态的某个操作算子序列等价于在图中寻找某路径。



例3：八数码问题的状态空间

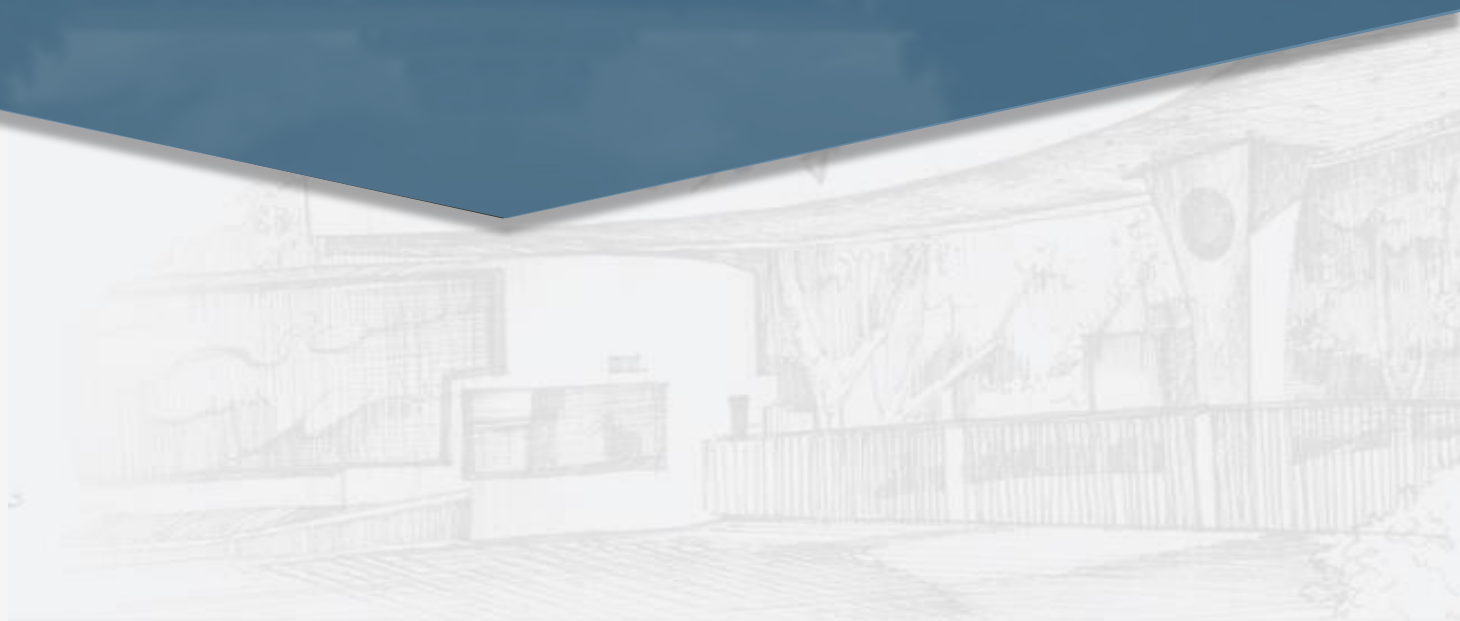
如果给出问题的初始状态，用图来描述其状态空间。其中弧可用4个操作算子来标注，即空格向上移 Up、将空格向左移 Left、将空格向下移 Down、将空格向右移 Right。





西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

2.3 推理与专家系统





推理与专家系统



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

费根鲍姆在1982年将专家系统定义为：智能的计算机程序，它运用知识和推理来解决只有专家才能解决的复杂问题。这里的知识和问题均属于同一个特定领域。

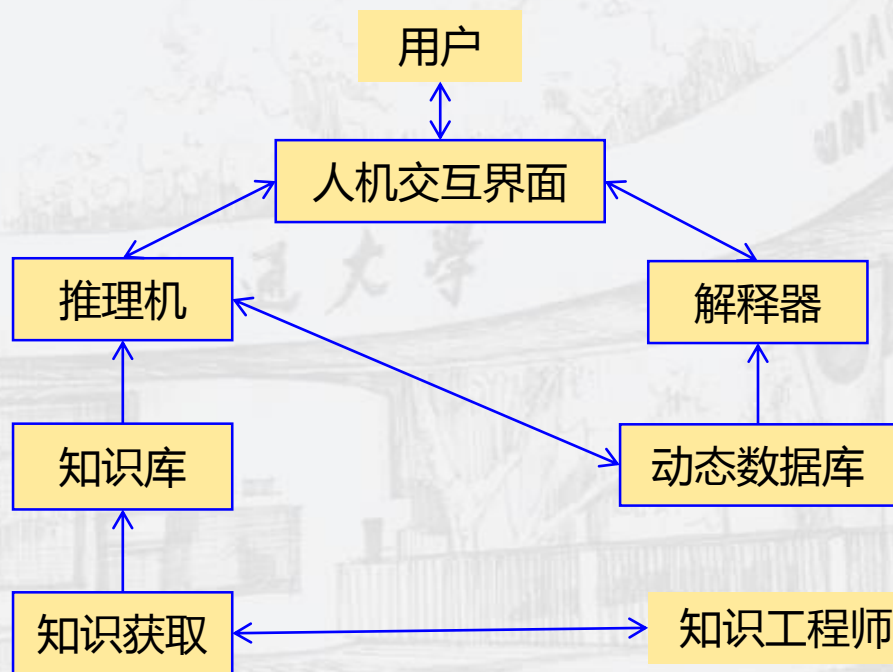
专家系统作为一种编程模式，模拟人类专家解决领域问题的计算机程序系统。专家系统的一般结构如下：

➤ 人机交互界面

是系统与用户的交互接口。

➤ 推理机

是一个执行结构，它负责对知识库中的知识进行解释，利用知识进行推理。





推理与专家系统



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

➤ 知识库

规则：**IF** <前提> **THEN** <结论>/<动作>

表示当<前提>被满足时，可以得到<结论> 或<动作>

例如：IF 阴天 and 湿度大 THEN 下雨。

IF 天黑 THEN 打开灯。

➤ 解释器

在专家系统与用户的交互过程中，专家系统可通过解释器对用户进行解释。

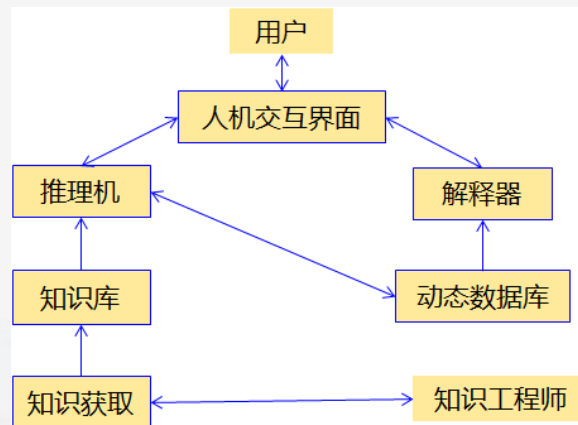
- ◆ **Why解释**：回答“为什么”，根据推理结果给出原因；
- ◆ **How解释**：回答“如何得到”，根据推理结果解释根据什么现状判断结果。
- ◆ 其他解释

➤ 动态数据库

是一个工作存储区，用于存放初始条件、已知事实、推理过程中的中间结果以及最终结果等。知识库中的知识、所用到的数据以及得到的结果均存放在动态数据库中。

➤ 知识获取

专家系统与知识工程师的交互接口。





推理方法

➤ 正向推理（数据驱动的推理）

检验是否规则的前提被动态数据库中事实满足。由于这种推理方法是从规则的前提向结论进行推理，所以称为**正向推理**，且由于其通过数据来“触发”规则进行推理的，所以也称为**数据驱动的推理**。

➤ 逆向推理（目标驱动的推理）

将目标作为假设，查看是否有某条规则支持该假设，然后看结论与假设一致的规则其前提是否成立，如果前提成立，则假设被验证，结论放入动态数据库中；否则将该规则的前提加入假设集中，一个一个地验证这此假设，直到目标假设被验证为止。由于其从假设求解目标成立、**逆向使用规则推理**，所以也称为**目标驱动的推理**。

➤ 冲突消解问题

多个规则的前提都成立时，**先执行哪个规则？**

一般逻辑推理都是确定性的实际问题中，推理往往具有模糊性、不确定性。比如”如果阴天则可能下雨“，这就属于非确定性推理问题。

例：有规则如下，已知A、B、D成立，求证F成立。

r1: IF A and B THEN C

r2: IF C and D THEN E

r3: IF E THEN F

解：初始时A、B、D在动态数据库，则

$r1 \rightarrow C \rightarrow r2 \rightarrow E \rightarrow r3 \rightarrow F$

例：规则如上例，已知A、B、D成立，求证F成立。

解：

r3: E?

r2: C? D?

r1: A? B?



推理与专家系统



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

一个简单的专家系统

你和朋友的一段对话：

- 你：你看到的动物有羽毛吗？
- FD：有羽毛。
- 你：会飞吗？
- FD：（经观察后）不会飞。
- 你：有长腿吗？
- FD：没有。
- 你：会游泳吗？
- FD：（看到该动物在水中）会。
- 你：颜色是黑白吗？
- FD：是。
- 你：这个动物是企鹅。

规则范式：

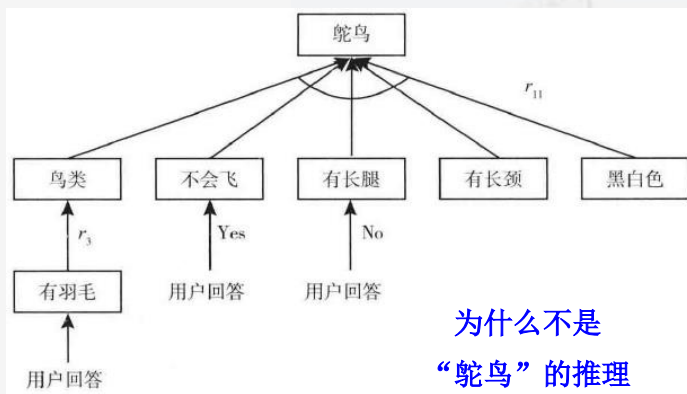
(rule <规则名>
(if <前提>
(then <结论>))

例如：“如果有羽毛则是鸟类”

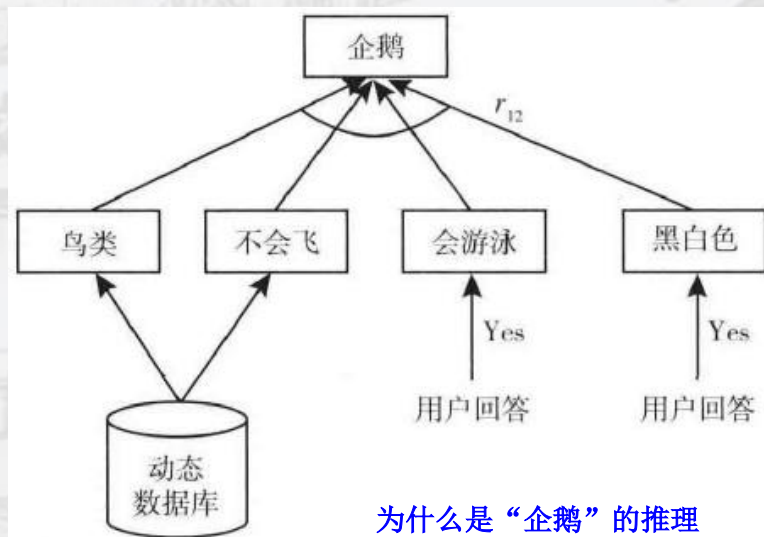
(rule r_3
(if same 有羽毛yes)
(then 类鸟类))

例如：“如果是鸟类且不会飞且会游泳且是黑白色则是企鹅”

(rule r_{12}
(if (same 类 鸟类)
(notsame 会飞 yes)
(same 会游泳 yes)
(same 黑白色 yes))
(then 类动物企鹅))



为什么不是
“鸵鸟”的推理



为什么是“企鹅”的推理



非确定性推理

➤ 非确定性的类型

- 随机性
- 模糊性
- 不完全性（对事物认识不足）
- 不一致性

（随着推理的进行，原来成立的，变的不那么成立了）

目前有不少非确定性推理方法，下面以可信度（certainty factor, CF）方法为例进行说明。

➤ 要解决的问题

- 事实的表示
- 规则的表示
- 逻辑运算
- 规则运算
- 规则的合成

◆ 事实的表示：

事实A为真的可信度CF(A), [-1, 1]

◆ 规则的表示：

IF A THEN B 规则的可信度CF(B, A)
A是前提，B是结论

- #### ◆ 逻辑运算：
- $$CF(A \wedge B) = \min(CF(A), CF(B))$$
- $$CF(A \vee B) = \max(CF(A), CF(B))$$
- $$CF(\sim A) = -CF(A)$$

◆ 规则运算：

已知：IF A THEN B CF(B, A)

CF(A)

则： $CF(B) = \max\{0, CF(A)\} * CF(B, A)$

只有当规则的前提为真时，才有可能推出规则的结论，而前提为真意味着CF(A)必须大于0；CF(A)<0的规则，意味着规则的前提不成立。



可信度 (certainty factor, CF) 方法

◆ 规则合成:

已知:

IF 阴天 **THEN** 下雨 0.8

IF 湿度大 **THEN** 下雨 0.5

且已知: $CF(\text{阴天}) = 0.5$, $CF(\text{湿度大}) = 0.4$

求: $CF(\text{下雨})$

解:

$$CF1(\text{下雨}) = \max(0, CF(A1)) * CF1 = 0.5 * 0.8 = 0.4$$

$$CF2(\text{下雨}) = \max(0, CF(A2)) * CF2 = 0.4 * 0.5 = 0.2$$

从规则1得到 $CF1(B)$, 从规则2得到 $CF2(B)$, 则合成后有:

$$CF(B) = \begin{cases} CF1(B) + CF2(B) - CF1(B) * CF2(B), & \text{当 } CF1(B), CF2(B) \text{ 均大于 } 0 \text{ 时} \\ CF1(B) + CF2(B) + CF1(B) * CF2(B), & \text{当 } CF1(B), CF2(B) \text{ 均小于 } 0 \text{ 时} \\ CF1(B) + CF2(B), & \text{其他} \end{cases}$$

这样, 上面的例子合成后的结果为:

$$CF(\text{下雨}) = 0.4 + 0.2 - 0.4 * 0.2 = 0.52$$



CF计算举例

已知: $R1: A1 \rightarrow B1, CF(B1, A1) = 0.8$

$R2: A2 \rightarrow B1, CF(B1, A2) = 0.5$

$R3: B1 \wedge A3 \rightarrow B2, CF(B2, B1 \wedge A3) = 0.8$

$CF(A1) = CF(A2) = CF(A3) = 1$

计算: $CF(B1), CF(B2)$

解:

由R1: $CF1(B1) = CF(A1) * CF(B1, A1) = 1 * 0.8 = 0.8$

由R2: $CF2(B1) = CF(A2) * CF(B1, A2) = 1 * 0.5 = 0.5$

合成得到: $CF(B1) = CF1(B1) + CF2(B1) - CF1(B1) * CF2(B1)$
 $= 0.8 + 0.5 - 0.8 * 0.5 = 0.9$

$CF(B1 \wedge A3) = \min\{CF(B1), CF(A3)\} = \min\{0.9, 1\} = 0.9$

由R3: $CF(B2) = CF(B1 \wedge A3) * CF(B2, B1 \wedge A3) = 0.9 * 0.8 = 0.72$



专家系统的局限性

专家系统在1980年代取得了很多应用，但也有很大局限性：

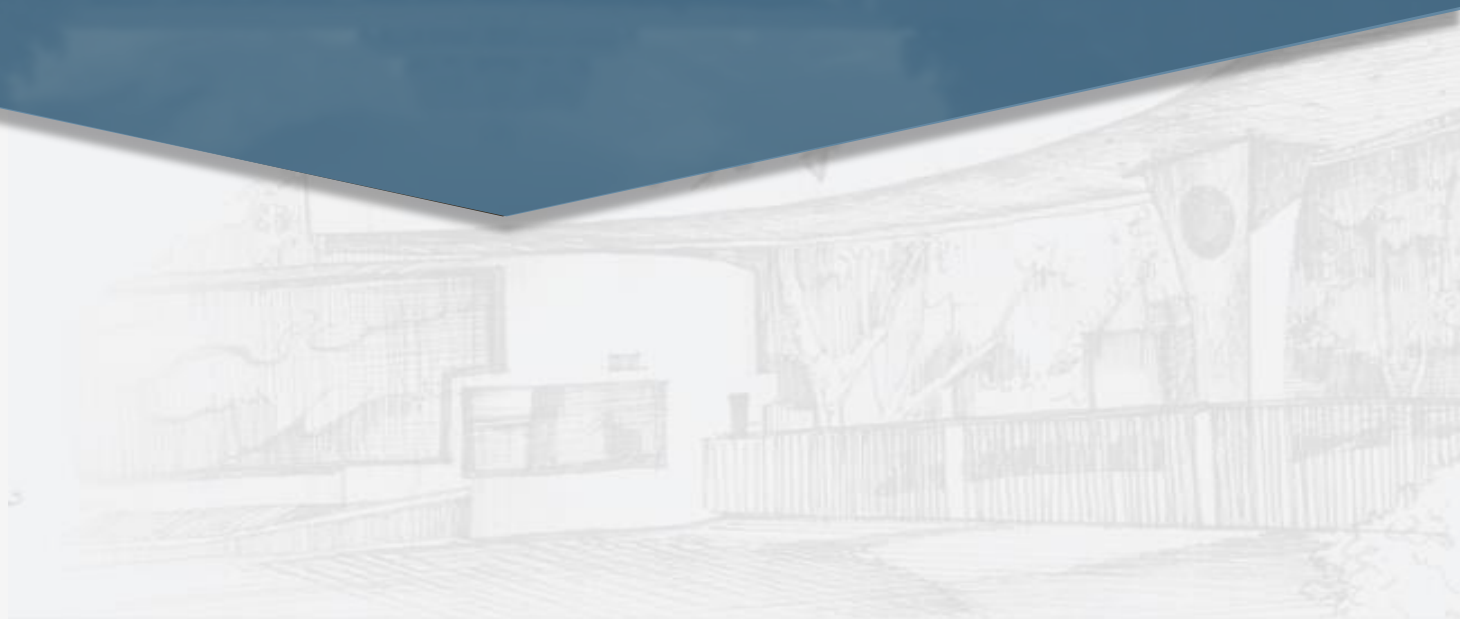
- 知识获取瓶颈问题
- 规则爆炸问题。
- 知识动态化、知识更新问题。
- 随着时代发展，人工建设专家系统的效率低、成本高、效果逐渐跟不上需求。

基于知识的人工智能方法仍然在不断进步，知识图谱在某种程度上就可以看作是大规模的知识集合。



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

2.4 知识图谱





知识图谱在图书情报界称为**知识域可视化**或**知识领域映射地图**，是显示知识发展进程与结构关系的一系列各种不同的图形，用可视化技术描述知识资源及其载体，挖掘、分析、构建、绘制和显示知识及它们之间的相互联系。

通过将应用数学、图形学、信息可视化技术、信息科学等学科的理论方法与计量学引文分析、共现分析等方法结合，并利用可视化的图谱形象地展示学科的核心结构、发展历史、前沿领域以及整体知识架构达到**多学科融合目的的现代理论**。

最早由Google公司于2012年提出，名为“**Knowledge Graph**”。应用于其搜索引擎，目的是增强信息检索能力，为用户提供更加智能的检索结果。

知识图谱以结构化形式，描述客观世界中存在的**概念**、**实体**、以及实体之间**关系**。因此，知识图谱是这样一类知识表示和应用技术的总称。

概念是指人们在认识世界过程中形成的对客观事物的概念化表示。如人、动物、组织机构等。

实体是客观世界中的具体事物。

关系描述概念、实体之间客观存在的关联。



知识卡片

知识卡片是知识图谱在搜索引擎中最初的表现形式，旨在为用户提供更多与搜索内容相关的信息。知识卡片为用户查询或返回答案中所包含的概念或实体提供详细的结构化摘要，实现对“找到最想要的信息”、“提供最全面的摘要”及“让搜索更有深度和广度”。



叶莉 360百科



叶莉，女，1981年11月20日出生，上海人，中国著名篮球运动员，1996年进入上海体育运动技术学院，1997年在上海体育运动技术学院，1998年入选国家青年队，1999年第一次入选国家队，司职中锋，技术特点篮板球争抢，攻击力强，穿插移动快，中、近距离投... [详情>>](#)
[早年经历](#) - [职业生涯](#) - [技术特点](#) - [全部](#)
baike.so.com/doc/50579-52997... - 快照 - [V 360百科](#)

爸爸的妈妈叫什么

搜索

网页 资讯 问答 视频 图片 良医 地图 百科 文库 英文 音乐 软件

爸爸的妈妈称呼:

祖母(奶奶)

报错



本体知识表示

➤ 本体定义

本体：形式化的、对于共享概念体系的明确且详细的说明。

本体的四个特征：

- **概念化：**本体是对客观世界中存在事物或现象及它们之间关系的概念化抽象；
- **精确性：**本体中的概念、关系以及各种约束被精确地定义；
- **形式化：**本体表示是为了方便人机交互和计算机推理，
因此其定义是形式化且机器可理解和推理计算的；
- **共享性：**本体的表示建立在领域内共同认知基础上，可以有效促进知识共享。

➤ 本体的组成

本体一般由概念、实例和关系三个部分组成，此外还有一些本体包含公理。

- **概念：**也成为类，是某一领域内相同性质对象集合的抽象表示形式。
- **实例：**概念中的特定元素，往往对应客观世界的具体事物。
- **关系：**也称属性，是指概念与概念或概念与实例间的关系模型。
- **公理：**描述领域内总是成立的陈述，是对所定义领域规则的描述。



万维网知识表示

万维网(world wide web)以文本和超链接描述信息, 提供了一个信息开放共享的平台, 并在不到30年里得到了快速发展, 从根本上改变了人们的工作和生活方式。目前, 万维网正在经历从仅包含网页和网页间超链接的文档万维网(web of document)向包含大量描述各种实体和实体之间丰富关系的数据万维网(web of data)转变。数据和知识表示是促进和支撑其发展的重要基础。

► 语义万维网

在语义万维网中, 信息内容具有良好的语义定义, 计算机可以理解并自动存取语义信息, 进行推理、完成特定任务的智能服务, 使计算机和人能够更好地协同工作。

简单地说, 语义网是一种能理解人类语言的智能网络, 它不但能够理解人类的语言, 而且还可以使人与电脑之间的交流变得像人与人之间交流一样轻松。



语义web应用场景实例

- ◆ Lucy打电话给Peter，他们要一起带妈妈找专科大夫看病，做定期物理治疗。Lucy通过手持设备设置她的语义Web个人助理（智能代理）。
- ◆ 个人助理很快调出Lucy以及Peter的近一段时间安排，并通过医生代理获取妈妈的病情及治疗情况。接着下来启动搜索服务，搜索满足以下条件的医疗机构：①离母亲家20英里范围内；②在母亲保险公司的理赔列表中；③第三方权威机构给出的评分是“好评”。
- ◆ Lucy的个人助理与选择的服务提供商的智能代理进行交互，预约合适的时间。
- ◆ 个人助理把预约的时间分别发送给Lucy和Peter，协商时间是否合适。
- ◆ Peter 提出时间不合适，因为那个时间段是交通高峰期，堵车严重。
- ◆ Lucy的个人助理重新与服务商代理交互，预约另一个合适的时间。

要实现这个场景：

首先，语义Web需要将当前面向人理解的互联网内容变成面向机器的具有语义的内容，需要万维网内容的知识表示手段。

其次，在语义Web下有很多完成特定任务的智能代理，可以存取互联网知识并且与其他智能代理进行交互。

这里本体定义了互联网上知识表示的方法，互联网内容是嵌入以本体描述的计算机可以理解和推理的结构化内容。个人助理之间通过本体定义的语义进行交互。



万维网知识描述语言

万维网发展过程中通过何种方式实现面向人理解的网络内容向机器理解的互联网内容的转变。

1. 可扩展标记语言（**extensible markup language, XML**）

XML是一种使用标签来组织互联网信息内容的标记语言。其可扩展是指标签不固定，可以根据实际需要进行扩展，在不同场景、不同领域使用的标签往往不同。这一特性使得XML具有极大的灵活性。大大简化了互联网环境下数据分享、数据传输和数据交换的过程，使数据更容易被使用。

XML包含标签、元素、属性三种基本概念。

(1) 标签：用于标识段数据。标签必须成对出现，分别位于数据开始和结束位置，称为开始标签和结束标签。开始标签格式为<tagname>，结束标签格式为</thagname>，一对标签的名字必须完全一样。标签可以嵌套使用，嵌套规则与数学表达式中括号的嵌套规则完全一致。

举个例子：<a>...是正确的，而<a>... ...是错误的。



1. 可扩展标记语言（**extensible markup language, XML**）

(2) 元素：被标签包围的数据称为元素。如：`<person><name>John</name></person>`中被`<person></person>`标签包围的部分`<name>John</name>`是一个元素，可以理解为描述一个人；而被`<name></name>` 标签包围的John也是一个元素，描述一个人的名字。

(3) 属性：元素可以具有属性，属性用来为元素提供额外的信息。在XML中，属性必须在开始标签内部使用键值对(key=value) 来指定。一个元素可以包含多个属性，但是每个属性名仅能使用一次。

例如：`<person type=student><name>John</name></person>`中的`type=student`为该元素的属性。

XML本质上是一个树形结构，每个XML文档有且仅有一个顶级标签；每个元素必须包含一个开始标签和一个结束标签;标签不能交叉，必须被正确地嵌套；元素可以包含属性，但属性名不能重复使用；标签和属性的名字必须被允许。

互联网上的数据种类繁多，在使用XML进行知识表示时可能会遇到同一个标签表示不同含义的情形，这就需要引入命名空间。除此之外，XML文档还需要很多限制以确保其“合理性”，比如在表示人的身高时，元素值超过5米显然不合理，这些约束可以通过XML Schema来表示。



2. 资源描述框架RDF与链接数据

RDF可以实现语义网以下三个功能:

- ◆ 保证了语义网的内容有准确的含义;
- ◆ 保证了语义网的内容可以被计算机理解并处理;
- ◆ 可以通过各种网页中的内容集成帮助进行自动数据处理

(1) 资源: 指存在全球统一资源标识符 (uniform resources identifier, URI) 的事物, 它是互联网正在讨论或者指向的任何事物, 并且RDF中的各种定义本身也是资源。可以对应知识图谱表示中的概念、实体和关系。

(2) 属性: 一种特殊的资源, 它描述了资源之间的关系, 即知识图谱中的关系

(3) 陈述: 一个由主语、谓语和宾语构成的三元组, 这三个均为资源。更直观的理解是——主语是资源, 谓语和宾语分别表示其属性和属性值。

例如: “人工智能导论的授课教师是张莉老师” 就可以表示为 “人工智能导论授课教师张莉” 这个三元组, 而其中 “人工智能导论” “张莉” 都是互联网上具有URI的对象。



2. 资源描述框架RDF与链接数据

如果将RDF的一个三元组中的主语和宾语表示成节点，将之间的关系表达成一条从主语到宾语的有向边，则所有RDF三元组就将互联网的知识结构转化为网结构。同样地，RDF Schema是用来定义RDF中的类和属性语义的描述性语言，除了XML Schema的功能，它还定义了资源间的继承关系及属性约束等。

链接数据提出的目的是将网络上众多的数据链接起来，构建一个计算机能够理解的语义网络，进而在此之上构建很多智能应用。

四个基本原则：与RDF要求一样，使用URI来标识每个事物（资源）；使用HTTP URI，便于用户可以像访问网页一样直接查看事物，真正实现互联；当用户查看一个URI时，可使用以RDF等标准提供有用的信息；为事物添加与其他事物的URI链接，建立数据关联。

特点：打破了各种格式信息之间的隔离，也打破了不同信息来源之间的隔阂。使得数据集成和浏览复杂数据变得更加简单，比较容易的更新和拓展模型；

3. 网络本体语言（web ontology language, OWL）

OWL以描述逻辑为理论基础，比RDF，具有更强的表达能力和推理能力。具有对称性、传递性、函数性、可逆性和反函数性。

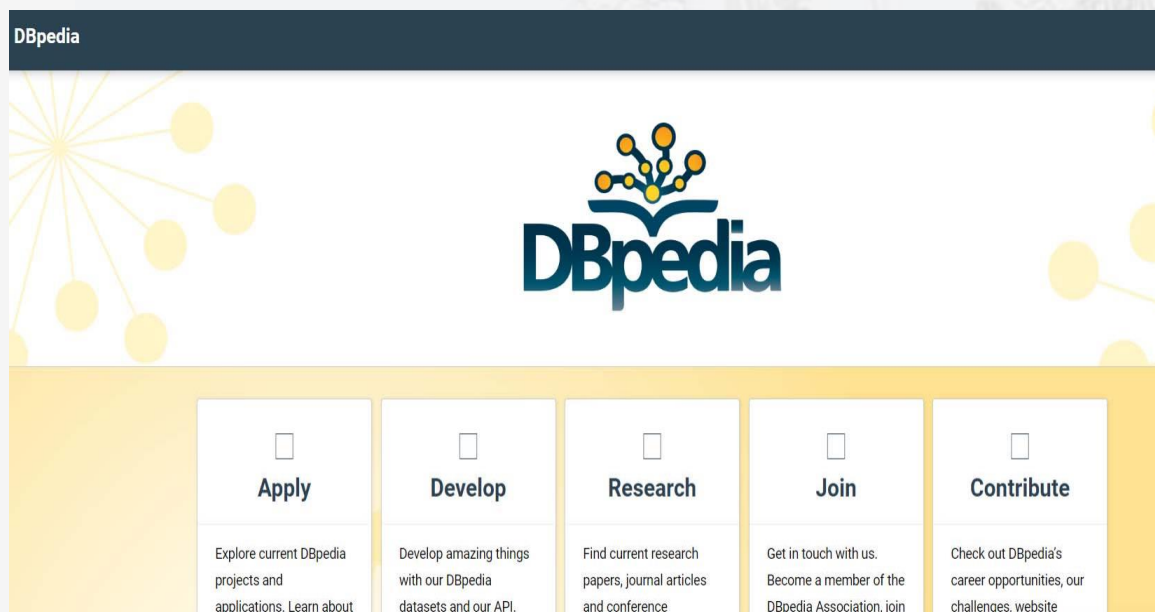
OWL还可以定义属性的值约束和基数约束，在一定程度上确保其推理的正确性。



常用知识图谱

DBpedia

- DBpedia是早期的基于维基百科的语义网项目。DBpedia本意是指数据库版本的Wikipedia，旨在将wikipedia知识系统化、规范化、结构化。
- 与Freebase不同，**DBpedia定义了一套较为严格的语义体系**，其中包含人、地点、音乐、电影、组织机构、物种、疾病等类定义。





知识图谱



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

YAGO

- YAGO是由德国马普研究所研制的知识图谱，主要集成Wikipedia、WordNet和GeoNames三个来源的数据了。
- YAGO的特点是将WordNet的词汇定义与Wikipedia的分类体系进行了知识融合，使得YAGO具有更加丰富的实体分类体系。
- YAGO还考虑了时间和空间知识，为很多知识条目增加了时间和空间维度的属性描述。

YAGO: A High-Quality Knowledge Base

YAGO is a joint project of the [Max Planck Institute for Informatics](#) and the [Telecom ParisTech University](#).



max planck institut
informatik



YAGO: Overview

YAGO is a huge semantic knowledge base, derived from [Wikipedia](#), [WordNet](#) and [GeoNames](#). Currently, YAGO has knowledge of more than 10 million entities (like persons, organizations, cities, etc.) and contains more than 120 million facts about these entities.

YAGO is special in several ways:

1. The accuracy of YAGO has been manually evaluated, proving a confirmed accuracy of 95%. Every relation is annotated with its confidence value.
2. YAGO combines the clean taxonomy of [WordNet](#) with the richness of the [Wikipedia](#) category system, assigning the entities to more than 350,000 classes.
3. YAGO is an ontology that is anchored in time and space. YAGO attaches a temporal dimension and a spacial dimension to many of its



BabelNet

- BabelNet的功能类似于WordNet，是个词汇知识库。BabelNet的特点是将WordNet词典与Wikipedia多语言百科做知识融合，使得wordnet支持更多的语言，**解决小语种wordnet数据缺乏的问题。**
- BabelNet核心思想是：许多Wikipedia词条都具有多语言版本，因此如果wordnet中的词条可以与wikipedia中的条目匹配，则相当于获得了多语言版本的wordnet。
- 目前，BabelNet3.7包含了271种语言，包含1400万同义词组，36.4万词语关系，超过19亿的三元组，是目前最大规模的多语言词典知识库。

BabelNet goes live.

BabelNet live is the next evolutionary stage of BabelNet, today's most far-reaching multilingual resource that covers hundreds of languages and, according to need, can be used as either an encyclopedic dictionary, or a semantic network, or a huge knowledge base. BabelNet live is growing continuously, thanks to being fed with daily updates from all the sources that go to make it up, including Wikipedia, Wiktionary, users' input, etc.

☐ Don't show me again.

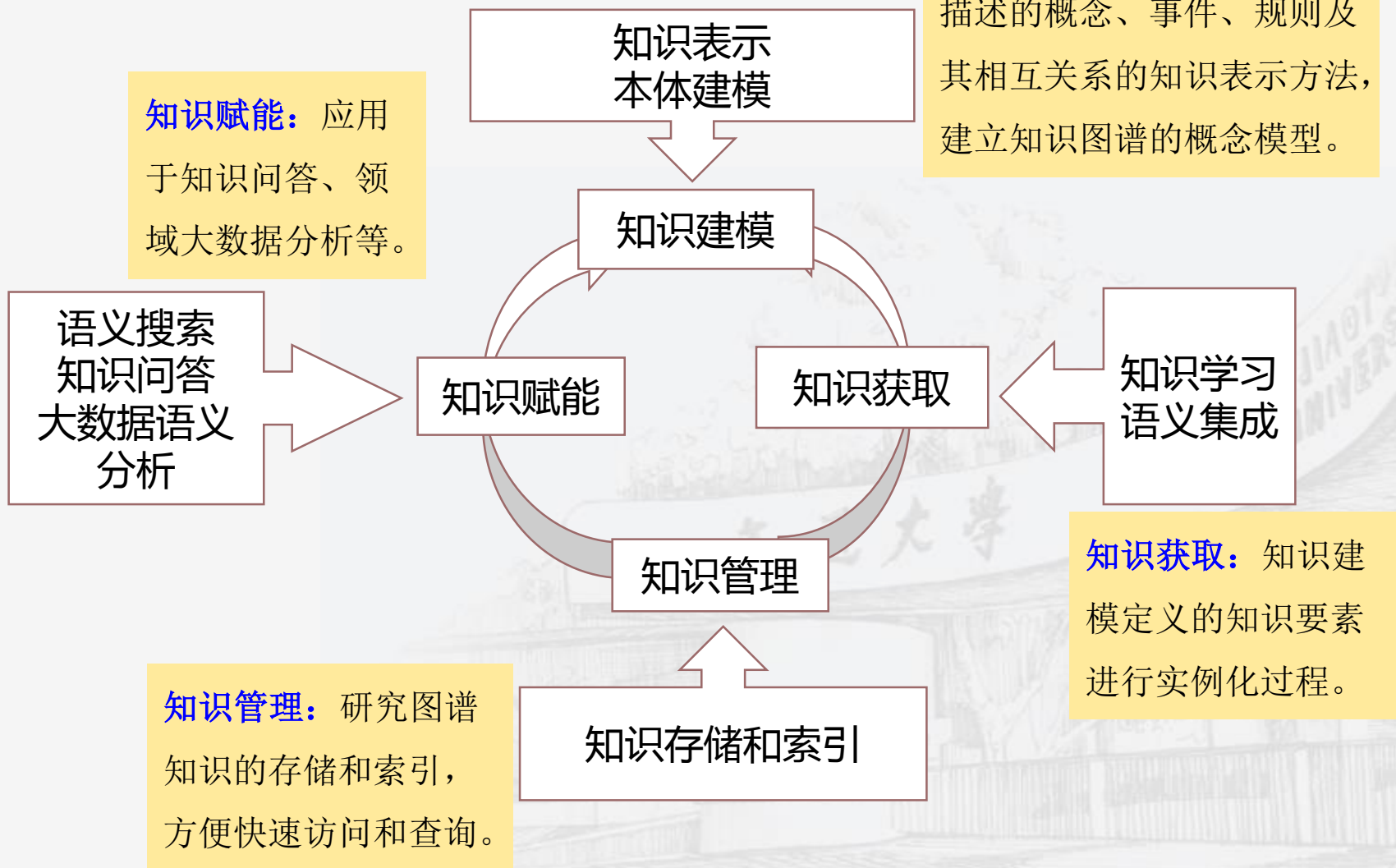
[CURRENT VERSION \(4.0\)](#) [LIVE VERSION](#)

BabelNet

brought to you by
 Babelscape



知识图谱的生命周期





获取知识的资源对象大体可分为结构化、半结构化和非结构化三类。

- ◆ **结构化数据**是指知识定义和表示都比较完备的数据，如前文提到的DBpedia和Freebase等已有知识图谱、特定领域内的数据库资源等
- ◆ **半结构化数据**的典型代表是百科类网站，虽然知识的表示和定义并不一定规范统一，其中部分数据(如信息框、列表和表格等)仍遵循特定表示以较好的结构化程度呈现，但仍存在大量结构化程度较低的数据，一些领域的介绍和描述类页面往往也都归在此类，如电脑、手机等电子产品的参数性能分析介绍。
- ◆ **非结构化数据**则是指没有定义和规范约束的“自由”数据，包括最广泛存在的自然语言文本、音视频等。

知识在数据中分布的特点：

- **多媒体性**：同一知识可能表达为不同的媒体形式，如维基百科的词条可能包括文本描述、图片展示以及结构化的信息框等。
- **隐蔽性**：很多有价值的知识可能存在于网页链接或者资源文件中。
- **分布性**：关于同一事物的不同方面的知识往往分布也各异，如科研人员的其本信息可以在其主页和个人简历中获取，论著发表情况收录于权威的ACM或者DBLP数据库中，而其参与的学术活动信息则只能通过相关活动的页面获得。
- **异构性**：知识的分布表达和定义不可避免地造成异构性，即不同用户对于同一知识的表达和理解存在或多或少的差异。
- **海量性**：互联网上知识的规模巨大



知识图谱的应用

现代知识图谱最初提出的目的是增强搜索引擎的搜索结果，改善用户搜索体验。这就是“语义搜索”，是目前知识图谱最典型的应用方式。除此之外，随着知识图谱推理技术的不断进步，知识图谱的应用范围也逐渐扩大到知识问答、大数据分析等领域。

► 语义搜索

在信息搜索方面，传统的方法是基于关键词的搜索。这种方式往往无法理解用户的意图，而是直接根据关键词给出若干网页。用户需要自己再次甄选，获取信息。知识图谱引入搜索引擎之后，利用其推理技术，可以发现用户检索词的深层含义，从而以更精确的方式给出搜索结果。





知识图谱



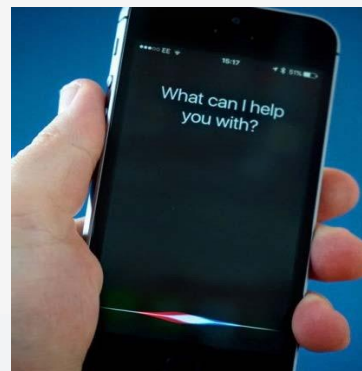
西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

► 知识问答

问答系统（Question Answering, QA）是指让计算机自动回答用户所提出的问题，是信息服务的一种高级形式。不同于现有的搜索引擎，问答系统返回用户的不再若干相关文档，而是精准的、单一的语言形式的答案。2011年，IBM Watson在智力竞赛节目中战胜人类选手，引起了巨大轰动。在后续几年，各大IT巨头相继推出以问答系统为核心技术的产品和服务，如Siri、Cortana、百度小度等。尽管IBM Watson系统在战胜了人类选手，但其核心技术仍然是“检索”模式，即在大规模数据库中直接搜索答案。近几年，随着知识图谱规模扩大和技术成熟，研究者逐步开始利用知识图谱回答问题，知识问答实现过程分为两步：

- **提问分析：**将用户提问语言中的语义、意图提取出来，形成可供三元组推理使用的“查询”。首先分析用户问题中的语义单元，区分涉及的“实体”和要问的“关系”，然后做实体链接，关系映射，将用户问题解析成为知识图谱中已经定义的实体、关系。

- **答案推理：**将该“查询”与知识图谱中的三元组进行检索、匹配或推理，获取正确答案。





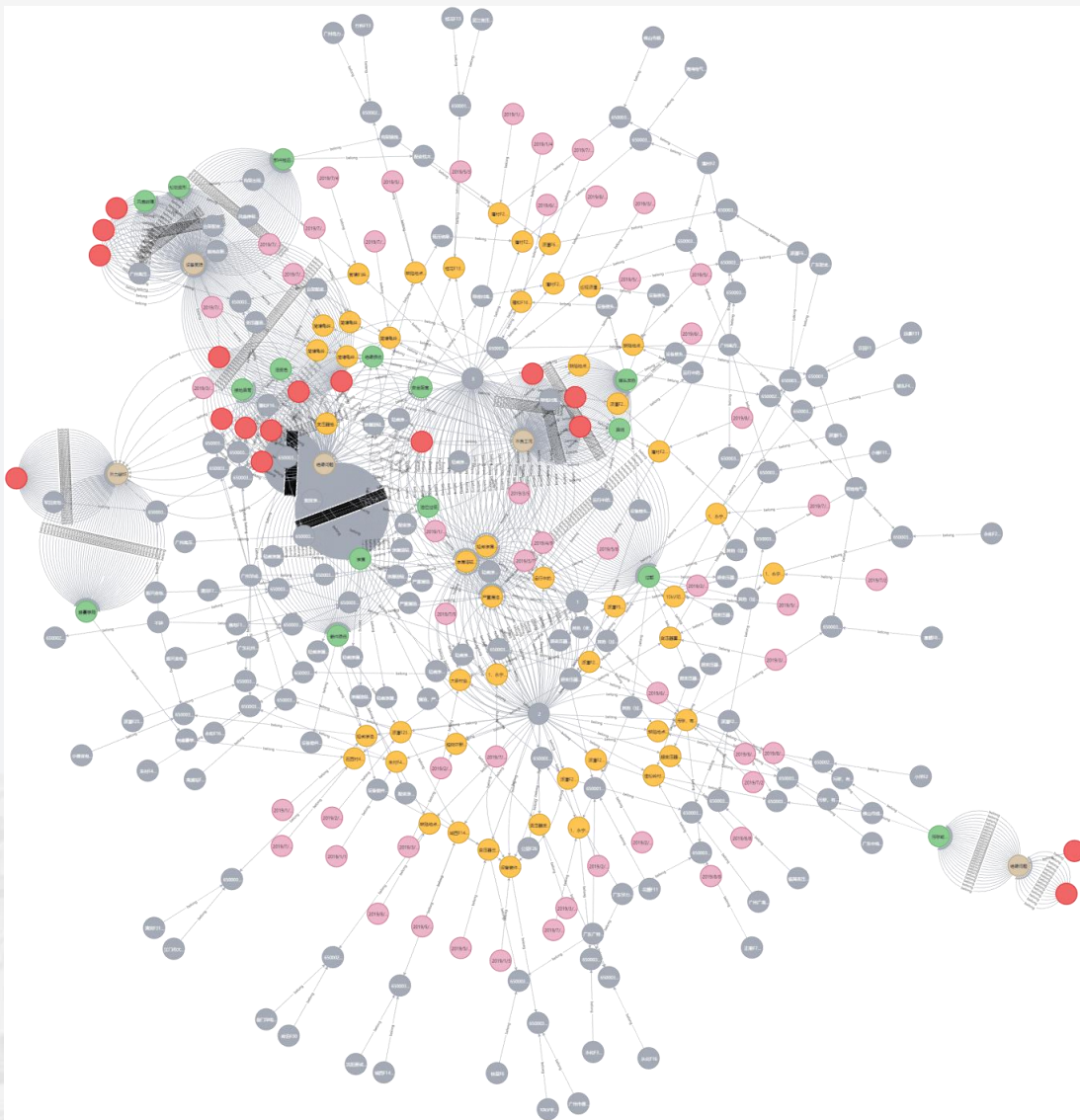
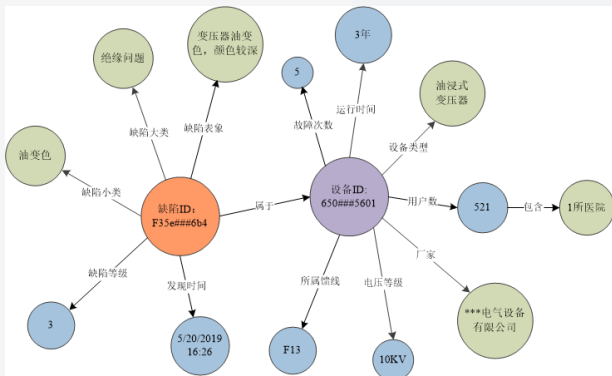
知识图谱



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

其它应用

面向配电变压器、环网柜、电缆和架空线路四种典型设备，对配电网典型设备缺陷知识进行统一的结构化表示，形成知识互联，为配电网典型设备缺陷分析提供知识支撑和可靠辅助决策。能够增强配电网设备缺陷运维智能化水平，降低故障发生概率，对配电网的安全可靠运行具有重要意义。



Neo4j平台搭建的知识图谱中配变子图



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

谢谢大家

