

完成智能任务是以相关知识为基础的。知识表示是将人类的知识形式化或模型化,以便计算机能够存储、管理和提供访问。谓词逻辑、产生式、框架、语义网络及本体表示法是常用的知识表示方法;人工构建知识库和自动抽取知识构建知识库是知识获取的主要途径。建好知识库有助于更好地完成智能任务。知识推理是对知识的运用和处理,是从已知的知识出发,通过运用各种逻辑规则和方法,推导出新的知识或结论的过程。

3.1 知识表示概述

3.1.1 知识

知识是驱动智能涌现的基础,知识表示则是让机器“读懂”知识的关键密码。知识涵盖人类认知与经验的精华,而知识表示作为连接人类智慧与机器智能的桥梁,旨在将抽象知识转化为计算机可处理的结构化形式。这不仅关乎知识的高效存储与检索,更决定着智能系统的推理、决策能力。

1. 知识的定义

知识是人类在长期实践中积累的认识和经验。不同的领域对知识的界定也有所不同。1994 年,图灵奖获得者、知识工程之父费根鲍姆认为:知识是经过消减、塑造、解释和转换的信息。英国著名教育学家伯恩斯坦(Basil Bernstein)认为:知识是由特定领域的描述、关系和过程组成的。从知识库的观点来看,知识是某领域中所涉及的各有关方面的一种符号表示。

从本质上说,知识是人们在长期实践活动中,通过对客观事物及其规律的观察、分析和总结所形成的经验体系。它是将零散信息通过逻辑关联构建而成的结构化认知系统,反映了人类对世界的理解。

2. 知识的分类

知识可以根据其内容、形式、逻辑、可靠性及其确定性进行分类,如图 3-1 所示。

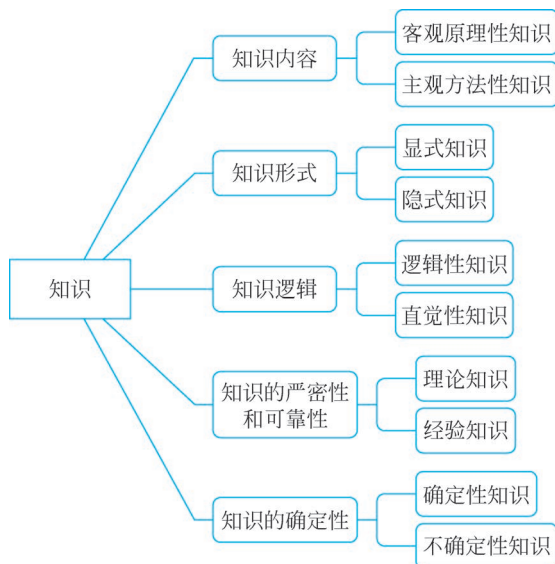


图 3-1 知识分类

1) 按知识内容

按知识内容,知识可分为(客观)原理性知识和(主观)方法性知识两大类。(客观)原理性知识指对客观事物及其规律的认识,包括对事物的现象、本质、属性、状态、关系、联系和运动等的认识,即对客观事物的原理的认识。(主观)方法性知识指利用客观规律解决实际问题的方法和策略,既包括解决问题的步骤、操作、规则、过程、技术、技巧等具体的微观方法,也包括诸如战术、战略、计谋、策略等宏观方法。

2) 按知识形式

按知识形式,知识可分为显式知识和隐式知识。显式知识指可用语言、文字、符号、形象、声音及其他人能直接识别和处理的形式,明确地在其载体上表示出来的知识。例如,学习的书本知识就是显式表示的知识。隐式知识则是不能用上述形式表达的知识,即那些“只可意会,不可言传或难以言传”的知识,如游泳、驾车、表演的知识就属于隐式知识。

3) 按知识逻辑

按知识逻辑,知识可分为逻辑性知识和直觉性知识。逻辑性知识基于严密推理规则、因果关系与系统论证,如数学定理、物理定律等都属于逻辑性知

识。直觉性知识源于个人经验、感知与潜意识判断,属“顿悟”或“本能反应”,难以用逻辑拆解。如消防员凭浓烟特征判断火情,艺术大师靠灵感与审美直觉创作,皆为直觉性知识的体现。

4) 按知识的严密性和可靠性

按知识的严密性和可靠性,知识可分为理论知识和经验知识(即实践知识)。理论知识一般是严密而可靠的,经验知识一般是不严密或不可靠的。例如,命题“正方形的面积等于边长的平方”就是一条理论知识,而命题“在雪地上行走容易摔跤”就是一条经验知识。

5) 按知识的确定性

按知识的确定性,知识可分为确定性知识和不确定性知识。例如,命题“若天阴,则下雨”就是一条不确定性知识。

3.1.2 知识表示

1. 知识表示的概念

在知识处理中总要问到以下问题:如何表示知识,怎样使机器能懂这些知识,能对之进行处理,并能以一种人类能理解的方式将处理结果告诉人们。知识表示是人工智能研究中最基本的问题之一。

知识表示(Knowledge Representation)就是对人类的知识进行形式化或者模型化,以便计算机能够存储、管理和提供访问。知识表示的目的是能够让计算机存储和使用人类的知识。知识表示方法是面向计算机的知识描述或表达形式和方法,是一种数据结构与控制结构的统一体。既考虑知识的存储又考虑知识的使用。知识表示可看成一组事物的约定,把人类知识表示成机器能处理的数据结构。

同一知识可采用不同的表示方法,不同的表示方法可能产生不同的效果。知识表示的目的在于通过有效的知识表示,使人工智能程序能利用这些知识做出决策,获得结论。

已有的知识表示方法大都是在进行某项具体研究时提出来的,各有其针对性和局限性。

2. 知识表示的方法

知识表示是为了让机器“理解”人类知识。它如同搭建一座连接人类智慧与机器智能的桥梁,将散落的概念、规则和经验转化为机器可处理的符号

或结构。随着研究的不断深入,已发展出多种知识表示方法,如谓词逻辑表示法、产生式表示法、状态空间表示法、框架表示法、语义网络表示法、脚本表示法及本体表示法等。下面简要介绍 5 种常见的知识表示方法。

1) 谓词逻辑表示法

谓词逻辑是基于数学逻辑的形式化方法,通过谓词、量词和逻辑连接词精确描述知识,详细介绍见 3.2.1 节。它的优势在于逻辑严谨,适合表示具有明确逻辑关系的知识,如数学定理、科学规律等。

例如,描述“所有鸟都会飞”可表示为

$$\forall x (Bird(x) \rightarrow Fly(x))$$

此例通过全称量词($\forall$)、谓词($Bird(x)$ $Fly(x)$)及逻辑连接词($\rightarrow$,表蕴涵)表示命题。这是自动定理证明和逻辑推理的基础。

2) 产生式表示法

产生式以 IF-THEN 规则形式表示知识,由条件(前件)和结论(后件)组成,适合描述经验性规则和决策逻辑,详细介绍见 3.2.2 节。其核心是“模式匹配-规则触发”机制,广泛应用于专家系统、工业控制等领域。

示例: 医疗诊断中的规则

IF 患者体温 $> 38^{\circ}\text{C}$ (条件 1) $\wedge$ 咳嗽持续三天以上 (条件 2) $\wedge$ 白细胞数升高 (条件 3)
THEN 建议进行肺部 CT 检查 (结论)

其中, $\wedge$ 是连接符号,表示并且的意思。

这种方法将专家经验转化为可执行的规则链,使机器能像人类专家一样逐步推导结论。

3) 语义网络表示法

语义网络通过节点(概念或对象)和有向边(关系)构建知识图谱,直观展示事物间的关联。常见关系包括分类(is-a)、属性(has-a)、部分整体(part-of)等,适合表示百科知识、常识推理等。图 3-2 是一个语义网络简单示例。

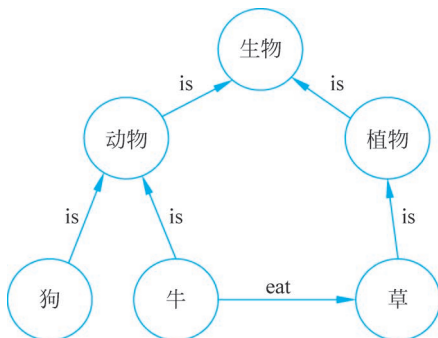


图 3-2 语义网络知识表示

这种图形化结构符合人类联想思维,是知识图谱技术的重要基础,详细介绍见 3.2.3 节。

4) 框架表示法

框架表示法将知识组织为具有层次结构的模板,每个框架包含“槽位”和“侧面”,用于描述对象的属性和关系。它擅长表示具有固定结构的领域知识,如物体类别、事件流程等。

5) 本体表示法

本体表示法通过定义领域内的概念、属性及其关系,构建标准化的知识体系。它比语义网络更严格,包含概念分类、公理约束和逻辑推理规则,常用于跨领域知识整合和语义搜索。

例如,医学本体可定义“疾病—症状—药物”的层级关系如下。

概念: 疾病、症状、药物。

关系: 疾病→有→症状; 药物→治疗→疾病。

约束: 一种症状可属于多种疾病,但每种疾病至少有一个典型症状。

这种方法确保知识的一致性和互操作性,是构建大规模知识库的核心技术。

3. 知识表示的目标

知识表示是将人类知识、经验和信息以计算机能够理解和处理的形式进行编码的过程。其核心目标包含实现知识的有效存储、高效处理,且能准确表达人类认知。这些目标相互关联、相互影响,共同推动着人工智能系统的发展与完善。

1) 有效存储

知识表示的首要目标是实现知识的有效存储。随着信息爆炸式增长,海量知识需要以合理的结构进行存储,避免数据冗余和混乱。例如,语义网络通过节点和链接的形式,将知识以结构化的方式存储,使得计算机能够快速定位和访问相关信息,提升存储效率和空间利用率。

2) 高效处理

知识表示致力于支持知识的高效处理。人工智能系统需要对知识进行推理、检索、更新等操作。通过合适的知识表示形式,如谓词逻辑、产生式规则等,能够将知识转化为计算机可执行的逻辑运算,实现自动推理和决策。以专家系统为例,基于产生式规则的知识表示,能够依据输入的条件,快速匹配规则库中的知识,得出相应结论,为用户提供专业建议。再者,知识表示要促进知识的共享与重用。在不同的人工智能应用场景和系统之间,实现知识的互通和复用可以降低开发成本、提高效率。本体论作为一种知识表示方

法,通过定义概念、关系和属性,建立起统一的知识模型,使得不同领域、不同系统的知识能够以标准化的形式进行交流和整合,打破信息孤岛。

3) 准确表达

知识表示追求对人类认知的准确表达。人工智能的发展目标之一是模拟人类的智能行为,这就要求知识表示形式能够贴近人类的认知和思维方式,准确捕捉知识的语义和内涵。例如,自然语言处理领域中,利用语义角色标注等技术对文本知识进行表示,使得计算机能够理解自然语言表达的含义,实现人机之间更自然的交互。

3.2 常见的知识表示方法

3.1 节中简单介绍了知识表示的一些常用方法,本节将对谓词逻辑、产生式及语义网络进行进一步说明。

3.2.1 谓词逻辑

谓词逻辑可以紧凑地表示知识。例如,“小龙是一个学生”可以表示为“Student(小龙)”。这里的“Student”是一个符号,称为谓词。使用谓词表示的知识可以用于推理和学习。该方法适合表示确定性知识。

1. 命题

类似上例的一个陈述句称为一个断言,而具有真假意义的断言称为命题。命题的真值,用 T 表示命题的意义为真,用 F 表示命题的意义为假。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,而在另外一些条件下为假。命题可以分为简单命题和复合命题。简单命题就是最简单的、不能再分的原子命题。复合命题是指由多个简单命题通过连接词组合而成的命题。

2. 谓词

谓词演算是用谓词表达命题。带有参数的命题包括实体和谓词两个部分,可用谓词公式表示。谓词公式的一般形式是

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

其中, P 是谓词符号(简称谓词); $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 是参数项,简称为项,可以是常量、变量、函数等。例如,谓词 WH 表示是白的,而实体 s 代表白雪,实体

c 代表煤炭,那么 $WH(s)=T, WH(c)=F$ 。通过谓词对参数进行演算,演算的结果要么为真,要么为假。

3. 连接词

1) 连接词的用途

连接词用于复合命题中简单命题的组合。

例如,命题“小龙是一个男学生”,可以表示为

$$\text{Male}(\text{小龙}) \wedge \text{Student}(\text{小龙})$$

其中:

“ $\text{Male}(x)$ ”是谓词,表示“ x 是男性”。

“ $\text{Student}(x)$ ”是谓词,表示“ x 是学生”。

“ $\wedge$ ”是逻辑连接词,表示“并且”,用于连接两个属性(“是男性”和“是学生”)。

2) 常用的连接词

常用的连接词如下。

(1) $\wedge$: 合取,表示与、并且。

(2) $\vee$: 析取,表示或者。

(3) $\neg$: 否定,表示非、取反。

(4) $\rightarrow$: 蕴涵,表示生成。

(5) $\equiv$: 等价。

上述连接词的真值表如表 3-1 所示。

表 3-1 常用连接词的真值表

P	Q	$\neg P$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \rightarrow Q$
T	T	F	T	T	T
T	F	F	F	T	F
F	T	T	F	T	T
F	F	T	F	F	T

表 3-1 中从左到右,第 1 列是 P 的值,第 2 列是 Q 的值;第 3 列是 P 的否定值;第 4 列是 P 和 Q 的合取值,当且仅当 P 和 Q 都为真的时候合取值为真,否则为假;第 5 列是 P 和 Q 的析取值,当且仅当 P 和 Q 都为假的时候析取值为假,否则为真;第 6 列为 P 与 Q 的蕴涵式,当且仅当 P 为真、 Q 为假的时候蕴涵式的值为假,否则为真。

4. 量词

谓词逻辑还有一个重要的概念是量词。

例如,命题“所有长得高的男生都打篮球”,可以表示为

$$\forall x((\text{Male}(x) \wedge \text{Student}(x) \wedge \text{Tall}(x)) \rightarrow \text{PlayBasketball}(x))$$

其中:

“ $\forall x$ ”是全称量词,表示“对于所有个体 x ”。

“ $\text{Male}(x)$ ”表示“ x 是男生”。

“ $\text{Student}(x)$ ”表示“ x 是学生”。

“ $\text{Tall}(x)$ ”表示“ x 长得高”。

“ $\text{PlayBasketball}(x)$ ”表示“ x 打篮球”。

“ $\wedge$ ”是合取连接词,表示“并且”。

“ $\rightarrow$ ”是蕴含连接词,表示“如果……那么……”(即“若 x 是长得高的男生,则 x 打篮球”)。

谓词逻辑中常用的有两个量词,分别是全称量词 $\forall$ 和存在量词 $\exists$ 。 $\forall$ 一般用于表示某个论域中的所有(任意一个)个体 x 都有 $P(x)$ 的值为 T, $\exists$ 用于表示某个论域中至少存在一个个体 x 使 $P(x)$ 的值为 T。上述两个符号分别是 A(all 的首字母)和 E(exist 的首字母)进行翻转得到的。

5. 一阶谓词逻辑

在谓词演算中,如果限定不允许在谓词、连词、量词和函数名位置上使用变量进行量化处理,且参数项不能是谓词公式,则这样的谓词演算是一阶的。一阶谓词演算不允许对谓词、连词、量词和函数名进行量化。

一阶谓词逻辑知识表示的优势在于,采用简洁的符号体系,以直观的形式对知识进行描述,降低了理解门槛。它适合表示事物的状态、属性、概念等事实性知识,也可以用来表示事物间具有确定因果关系的规则性知识。它根据对象和对象上的谓词(即对象的属性和对象之间的关系),通过使用连接词和量词来表示世界。

3.2.2 产生式

一阶谓词逻辑适用于需要严格逻辑证明的领域。在经验性、规则性知识的表示与推理中往往会采用产生式系统。产生式表示法又称为产生式规则表示法。它是人工智能中使用最广泛的知识表示方法之一。“产生式规则”

这一术语是由美国数学家波斯特(E. Post)在 1943 年首先提出的。产生式通常用于表示事实、规则以及它们的不确定性度量,适合表示事实性知识和规则性知识。

1. 事实的表示

事实可分为确定性事实与不确定性事实。事实可看成描述一个对象的值或多个对象关系的陈述句。

1) 确定性事实

确定性事实一般用三元组表示。三元组是一种非常简单又非常高效的知识表示方式,有以下两种情况。

- (对象,属性,值)
- (关系,对象 1,对象 2)

其中,(对象,属性,值)表示对象的某个属性具有指定的值,而(关系,对象 1,对象 2)则表示对象 1 和对象 2 具备指定的关系。

例如,“老李的年龄是 45 岁”可以表示为(LaoLi, Age, 45),这里使用的是(对象,属性,值)这种表示方式。“老李和老王是朋友”则可以表示为(Friend, LaoLi, LaoWang),这里使用的是(关系,对象 1,对象 2)这种表示方式。

2) 不确定性事实

不确定性事实一般用四元组表示,与表示确定性事实的三元组相比,多了一个置信度。

例如,“老李年龄很可能是 45 岁”表示为(LaoLi, Age, 45, 0.8),这里的置信度为 0.8,表示很可能。“老李和老王不大可能是朋友”则可以表示为(Friend, LaoLi, LaoWang, 0.1),这里用置信度 0.1 表示可能性比较小。

2. 规则的表示

规则可分为确定性规则与不确定性规则。规则描述的是事物间的关系。

1) 确定性规则

使用产生式表示确定性规则,其基本形式如下。

$$\begin{array}{l} \text{IF } P \quad \text{THEN } Q \\ \text{或者} \quad P \rightarrow Q \end{array}$$

其中, P 是产生式的前提,用于指出该产生式是否可用的条件; Q 是一组结论或操作,用于指出当前提 P 所指示的条件满足时,应该得出的结论或应该执行的操作。上面的产生式的含义是:如果前提 P 被满足,则结论 Q 成立

或执行 Q 所规定的操作。

例如, r_1 : 如果动物会飞并且动物会下蛋,那么该动物是鸟类。

其中, r_1 是该产生式规则的编号,“动物会飞并且动物会下蛋”是前提 P , “该动物是鸟类”是结论 Q 。

2) 不确定性规则

与确定性规则相比,不确定性规则增加了一个置信度,放在规则的最后面。

例如,在医学专家系统 MYCIN 中有这样一条产生式规则:

如果 该微生物的染色斑是革兰氏阴性,

该微生物的形状呈杆状,

病人是中间宿主,

那么 该微生物是绿脓杆菌(0.6)。

该不确定性规则表示:当前提条件中列出的各项都得到满足时,结论“该微生物是绿脓杆菌”可以相信的程度为 0.6。这里用 0.6 表示知识置信度的强度。

产生式表示法与人类的判断性知识基本一致,既直观、自然,又便于推理。其产生式规则都是独立的知识单元且不存在相互调用,具有模块性。

3.2.3 语义网络

1. 定义

语义网络主要用于表示事物之间关系的知识,形式上是一个带有标识的有向图。图中的节点表示事物、概念、状态,节点之间的弧表示节点之间的关系。图 3-3 就是非常简单的两个基本语义单元。一个表示 Liming is a student, 另一个表示 China has the Great Wall。这种表示方法非常灵活和简单。当然,语义网络表示的任意性导致对其的使用变得困难。

2. 结构

从整体结构上来看,语义网络一般由多个基本语义单元组成,形式如图 3-4 所示。这些基本的语义单元称为语义基元,可用三元组表示为节点 1、弧、节点 2。图 3-3 的语义网络三元组的形式表示为(Liming, IsA, Student)(China, has, the Great Wall)。用三元组形式表示时,一个大的语义网络可以用一组三元组形式的数据保存。

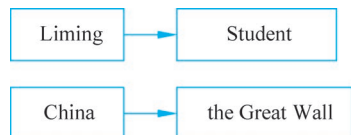


图 3-3 两个基本语义单元

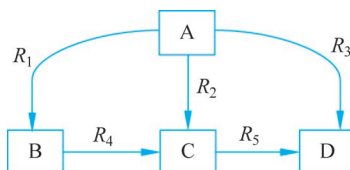


图 3-4 语义网络结构

3. 语义关系

语义网络除了可以描述事物本身,还可以描述事物之间错综复杂的关系,如类属关系、聚类关系、属性关系等。基本语义联系是构成复杂语义联系的基本单元,也是语义网络表示知识的基础,因此用一些基本的语义联系组合成任意复杂的语义联系是可以实现的。这里给出类属关系中一些经常使用的基本语义关系。

类属关系是指具有共同属性的不同事物间的分类关系、成员关系或实例关系,是最常用的一种语义关系,常用的类属关系介绍如下。

ISA(Is-a): 表示一个事物是另一个事物的实例。

AKO(A-Kind-of): 表示一个事物是另一个事物的一种类型。

AMO(A-Member-of): 表示一个事物是另一个事物的成员。

一个实例节点可以通过 ISA 与多个类节点相连接,多个实例节点也可以通过 ISA 与一个类节点相连接,从而将分立的知识片段组织成语义丰富的知识网络结构。例如,“生物的分类”可以表示为如图 3-5 所示的语义网络。

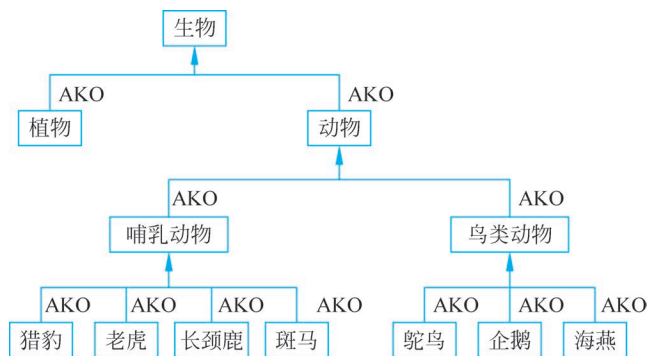


图 3-5 AKO 连接实例

在图 3-5 中,通过 AKO 将生物分类问题领域中的所有类节点组成一个 AKO 层次网络,给出生物分类系统中的部分概念类型之间的 AKO 联系描述。

又如,“苹果树是一种果树,果树又是树的一种,树有根、有叶而且是一种植物”,其对应的语义网络如图 3-6 所示。

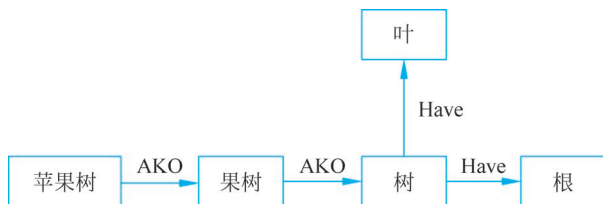


图 3-6 苹果树的语义网络

在图 3-6 中,涉及“苹果树”“果树”和“树”这三个对象,树的两个属性为“有根”“有叶”。首先,建立“苹果树”节点,为了说明苹果树是一种果树,增加一个“果树”节点,并用 AKO 联系连接这两个节点。为了说明果树是树的一种,增加一个“树”节点,并用 AKO 联系连接这两个节点。为了进一步描述树“有根”“有叶”,引入“根”节点和“叶”节点,并均用 Have 联系使它们与“树”节点连接。

3.3 知识的获取与管理

3.3.1 知识的人工获取与自动获取

知识获取与知识表示常常是分不开的。知识的表示方法也决定了知识的获取方法。

1. 人工构建知识库

在 20 世纪 70 年代至 20 世纪 80 年代末,知识库构建主要依赖人工输入方式,将知识逐条录入计算机系统,这一实践推动了基于知识的专家系统研究。其中,Cyc 和 WordNet 是该时期典型的人工构建知识库。WordNet 由普林斯顿大学于 1985 年启动开发,其聚焦于刻画名词、动词、形容词及副词间的语义关系,尤其是名词体系中的蕴涵关系(即上位/下位关系),例如,“猫科动物”作为上位概念,自然涵盖“猫”这一下位概念。

人工构建知识库的模式存在显著局限性。首先,该方式面临高昂的人力成本与漫长的建设周期。以专家系统 MYCIN 为例,其研发过程需要人工智能领域与医学领域的专家团队协作,耗时约 5 年才最终形成包含数百条规则

知识的系统。这种长时间、多人力的投入,极大地限制了知识库的快速扩展与更新。

其次,全面构建大型知识库,特别是涵盖常识类知识的体系,存在难以逾越的障碍。常识作为人类认知的基础,广泛存在于日常生活中,如“物体无法同时处于两个空间位置”“人类具备五官”等。然而,这些看似简单的常识,若要完整、系统地进行形式化描述却极为困难。在实际操作中,人类记忆具有局限性,极易出现知识遗漏。以旅行准备为例,人们在规划携带物品时,若缺乏他人提醒或历史记录参考,往往会遗漏重要物品,直至实际需要时才察觉。这种现象在知识构建中同样存在,脱离实际场景,仅依靠实验室环境下的设计与回忆,难以获取完整、准确的知识。

Cyc 是一个常识知识库。它由 Douglas Lenat 于 1984 年开始创建,最初目标是建立人类最大的常识知识库。历经 10 年建设,虽积累了 50 多万条规则,但仍存在明显缺陷。其知识分布零散,缺乏系统性架构,知识覆盖领域不均衡,且常识类知识严重缺失。即使是看似简单的知识构建任务,如罗列所有水果名称,人工操作也面临诸多挑战:一方面,个体记忆存在偏差,难以穷举所有实例;另一方面,受认知范围限制,单个构建者掌握的知识仅是整体的一部分,难以实现全面覆盖。这充分凸显了人工构建知识库在完整性与准确性上的固有局限,也促使学界探索更为高效、智能的知识获取与表示方法。

2. 自动抽取知识构建知识库

随着互联网的迅猛发展,知识获取模式迎来革新,自动抽取知识构建知识库成为新趋势。互联网作为庞大的知识载体,维基百科、百度百科等专业知识平台,以及海量网页,均蕴含着丰富的知识资源。2006 年前后,学界围绕互联网知识自动抽取展开深入研究,逐步形成两种主流技术思路。

第一种思路基于结构化数据获取,要求网页内容按预定义格式录入,以便程序高效采集并提取知识。典型代表为 DBPedia 知识库,其构建依赖于百科类网站结构化的词条内容。以“计算机视觉”词条为例,网页中明确设置“定义”“原理”“应用”等细分条目,程序可通过预设规则,精准定位这些条目,并将对应文本内容提取为结构化知识。这种方法的优势在于知识抽取准确性高、结构清晰,便于后续的知识整合与应用,但局限性在于对网页内容格式要求严苛,适用场景相对较窄。

第二种思路聚焦自然语言处理,利用语言本身的语法和语义规律,从非

结构化文本中自动抽取知识。以微软 ProBase 知识库为例,其核心技术之一是基于稳定的语言模板进行知识挖掘。在英语文本中,“NP such as{NP, NP, ..., (and|or)}NP”是常见且稳定的句子结构(NP 代表名词短语)。例如,在句子“I like fruits, such as apples and pears.”中,程序可识别“fruits”为概念集合名称,“apples”和“pears”为集合元素,进而构建“fruits={apple, pear}”的知识单元。当文本中出现“He likes fruits, such as apples and peaches.”时,基于相同概念名称,程序自动合并两条知识,更新为“fruits={apple, pear, peach}”,并记录元素出现频次。通过编写算法匹配“such as”关键词,提取前后名词短语,即可高效完成知识抽取。实际上,英语中存在多种类似的稳定句式结构,ProBase 正是凭借扫描数十亿文档、匹配多元模板,在数月内成功构建起包含数百万概念及其成员的庞大知识库。

当前,知识获取已形成多元格局。传统人工构建虽存在成本高、周期长、常识覆盖难等问题,但在专业领域知识体系构建中仍具有不可替代性;自动构建技术依托互联网海量数据与智能算法,实现了知识的快速扩展与积累;而预训练语言大模型的兴起,为知识获取开辟了新路径。大模型通过海量文本预训练,将大量常识与专业知识隐式编码于模型参数中,虽难以直接解读,但在语言理解、知识推理等任务中展现出强大能力。例如,我们在和 DeepSeek 聊天时会发现,它包含大量的知识,包括常识。它能够对“亚里士多德用过计算机吗?”等很多问题进行有条理地回答。

人工构建、自动构建与预训练三种知识获取模式各有优劣、互为补充,共同推动知识工程领域不断向前发展,为人工智能的知识储备与应用创新提供了坚实支撑。

3.3.2 知识的存储、更新与管理

在人工智能从数据驱动迈向知识驱动的进程中,知识的存储、更新与管理成为连接理论建模与实际应用的关键枢纽。随着知识规模的爆发式增长与应用场景的复杂化,将碎片化知识组织为高效可用的体系,确保其在动态环境中保持准确性与时效性,是构建智能系统的核心基础。

1. 知识存储

知识存储是人工智能系统高效运行的基石,其物理结构设计技术如同搭建一座稳固且智能的“知识仓库”,直接影响知识存取的效率与可靠性。

知识存储的物理结构设计旨在解决“知识如何在计算机中存放”的问题，核心目标是让计算机能够快速、准确地找到并处理所需知识。这就好比建造一座大型仓库，不仅要考虑空间利用，更要设计合理的布局和检索路径，确保货物存取便捷。根据不同的应用场景与需求，主要有基于文件系统、数据库系统以及分布式存储系统等多种存储方式。

基于文件系统的存储是较为基础的方式，它将知识以文本或二进制的形式直接保存在计算机文件中。文本文件存储简单直观，如将规则知识以特定语法写入 TXT 文件，但检索效率较低，如同在堆满杂物的仓库里翻找物品；二进制文件则通过将数据转换为字节流，节省存储空间且读取速度快，不过缺乏通用性。

数据库系统为知识存储提供了更结构化的解决方案。关系数据库采用表格形式，将知识拆解为行与列，通过主键、外键建立关联，适合处理结构化、有明确逻辑关系的知识，就像将货物按类别整齐摆放在货架上，便于快速检索和统计，图 3-7 是关系数据库的建立过程。Oracle、Microsoft Server、MySQL 等都属于关系数据库。图数据库则以节点和边的形式存储知识，能直观呈现知识间复杂的关联关系，例如，在用于欺诈检测的知识图谱中，各种实体关系可清晰展示，如图 3-8 所示。Neo4j、GraphDB 是常见的图数据库。

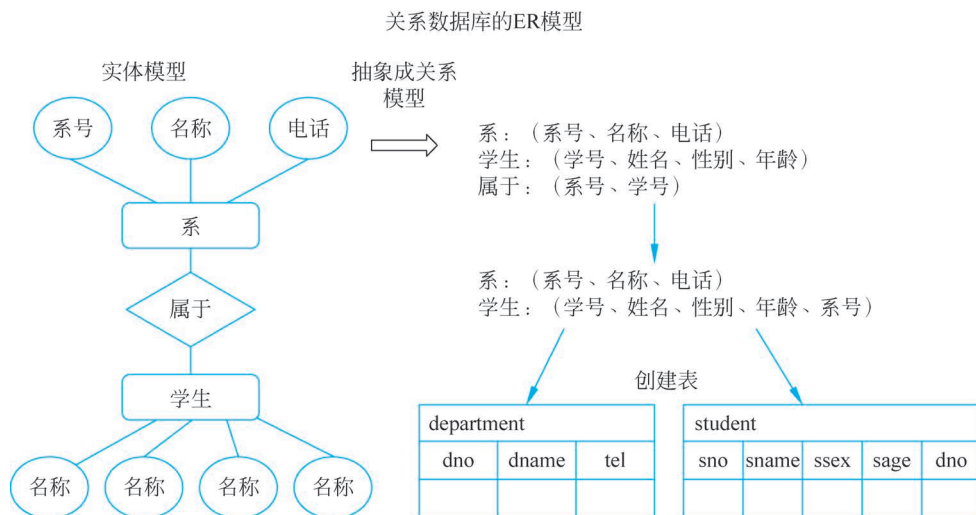


图 3-7 关系数据库

随着数据规模的爆炸式增长，分布式存储系统应运而生。它如同将多个小型仓库联网，把知识分散存储在多台计算机上，通过特定的算法和协议实

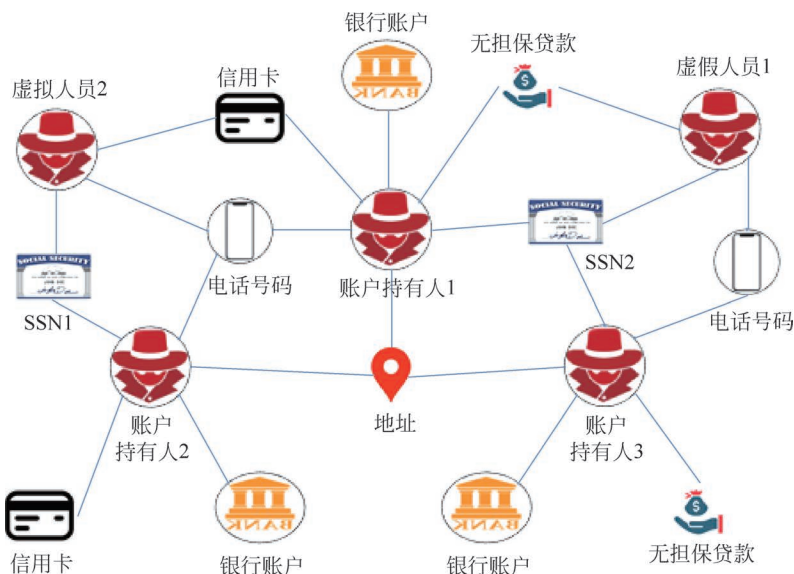


图 3-8 用于欺诈检测的图数据结构

现数据的协同管理。这种方式不仅解决了单机存储容量有限的问题，还能提高数据的可靠性与读写性能，就像在多个仓库间灵活调配货物，满足不同区域的需求。

此外，索引技术也是知识存储物理结构设计的关键一环。索引如同仓库的导航图，通过建立数据与存储位置的映射关系，大幅提升检索速度。常见的 B 树索引、哈希索引等，能根据不同的查询需求，快速定位知识所在位置，让计算机在海量知识中也能“一键直达”目标信息。

2. 知识库的维护与更新

知识更新是维持知识体系生命力的关键，如同为“知识仓库”注入新鲜血液，确保其内容始终贴合现实需求、准确无误。随着知识不断迭代与拓展，增量更新和版本控制作为核心技术，从动态补充与历史追溯两个维度，共同保障知识系统的稳健运行。

知识更新围绕“如何让知识与时俱进且可追溯”展开，核心在于平衡新知识的引入与历史版本的管理。在现实场景中，知识并非一成不变，无论是新闻资讯的实时更新，还是学术理论的迭代演进，都要求知识系统具备动态响应能力。增量更新与版本控制就像仓库的“补货员”和“档案管理员”，前者负责及时补充新内容，后者则妥善记录每个阶段的状态，避免知识更新过程中出现混乱或信息丢失。

增量更新专注于新知识的动态补充,避免对整个知识体系进行大规模重构。当新数据产生时,系统会精准识别差异,仅将新增或修改的部分融入现有知识。例如,在金融领域,股票交易数据、政策法规变动等信息时刻更新,增量更新技术可实时捕捉这些变化,将新数据快速整合到知识库中,而无须重新处理所有历史数据。这种方式不仅节省了计算资源,还能显著提升知识更新的时效性,确保系统始终基于最新信息做出决策。

版本控制则侧重于记录知识的演变历史,就像为知识体系拍摄不同时期的“快照”。每当知识发生修改、删除等操作时,系统会自动创建一个新的版本,保留修改前的内容,并记录变更细节。在软件开发中,代码库会随着功能迭代产生多个版本,开发者可随时回溯到某个稳定版本,排查问题或复用代码;在学术文献管理中,版本控制能保存论文的各个修改阶段,方便作者追溯思路变化。通过版本控制,知识系统既能实现灵活的版本切换,又能确保知识变更的可审计性,避免因误操作或错误更新导致数据丢失。图 3-9 中每个版本都有一个 id,分别是 id:11111、id:22222、id:33333。系统取值时,默认情况下通常会从最新版本文件中读取数据。



图 3-9 版本控制

增量更新与版本控制相辅相成,前者保障知识的时效性,后者维护知识的稳定性。二者协同工作,让知识系统既能快速适应环境变化,又能保持历史脉络的完整性,为智能应用提供持续可靠的知识支持。

3. 知识管理

知识管理是知识体系的“中枢神经”,如同一位经验丰富的仓库主管,统筹协调知识的全生命周期,确保知识的质量、一致性和可用性。在多源异构数据不断涌入的背景下,知识管理通过一致性维护、知识融合等关键技术,将零散、矛盾的知识整合成有序、可靠的资源,为智能系统的高效运行奠定坚实基础。

知识管理的核心任务在于解决知识体系中存在的矛盾、冗余和碎片化问题,旨在构建一个结构清晰、逻辑一致、内容完整的知识生态。随着知识来源的日益多元化,从文本、图像到数据库记录,不同渠道的数据往往存在格式不统一、语义冲突等问题。一致性维护和知识融合就像仓库主管的两大得力工具,前者负责规范知识的“言行一致”,后者专注于整合分散的“知识孤岛”,共同提升知识的整体价值。

一致性维护致力于消除知识体系中的矛盾与冲突,确保知识表述的统一性和准确性。在大型电商平台中,同一商品的价格、规格等信息可能在不同页面、不同系统中出现差异,这不仅会误导用户,还可能引发交易纠纷。一致性维护技术通过制定严格的规则和约束条件,实时监测知识的变动,一旦发现矛盾数据,立即触发自动校验和修正机制。例如,通过数据校验算法比对库存系统与销售系统中的商品数量,及时纠正偏差,保障数据的准确性和一致性。

知识融合则聚焦于整合来自不同源头的知识,打破数据壁垒,形成完整的知识图谱。在医疗领域,患者的病历信息、基因检测数据、临床研究成果等分散在不同机构和系统中,知识融合技术能够运用自然语言处理、机器学习等手段,对这些异构数据进行清洗、匹配和关联,构建全面的医疗知识库。通过实体对齐技术识别不同数据中的同一实体,利用关系抽取算法挖掘潜在联系,最终将零散的知识片段拼接成一张相互关联的知识网络,为精准医疗和医学研究提供强大的知识支持。

一致性维护与知识融合相互配合,前者为知识体系筑牢稳定的根基,后者则不断拓展知识的广度和深度。二者共同发力,使知识管理成为推动知识创新和智能应用发展的核心引擎,助力各类智能系统释放更大的价值。

3.4 推理与知识图谱

3.4.1 推理

1. 推理的概念

推理是指从一个或几个已知判断(前提)逻辑推导出新判断(结论)的过程,其本质是事物客观联系在意识中的反映。例如,由“张珊是中国公民”“张珊年满18周岁”“年满18周岁的中国公民有选举权”三个前提,可必然推出

“张珊有选举权”，这一过程体现了前提与结论间的逻辑关联，是人类解决问题的核心思维机制。

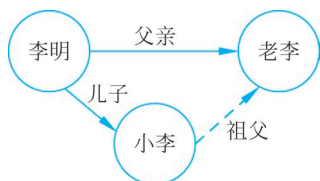


图 3-10 家庭关系

具体到语义网络中，可以通过网络中的知识（三元组），得到一些新的实体的属性或实体间的关系。如（李明，父亲，老李）和（李明，儿子，小李），通过推理，可以得到（小李，祖父，老李），如图 3-10 所示。

2. 推理的分类

推理有不同的分类方法。本节介绍按推理途径与推理知识确定性两种分类方法。

1) 按推出判断的途径

按推出判断的途径，推理可分为演绎推理、归纳推理和默认推理。

（1）演绎推理是从全称判断推导出特称判断或单称判断的过程。演绎推理有多种形式，其中最常用的是三段论式。

三段论式包括以下三部分。

- ① 大前提：已知的一般性知识或假设。
- ② 小前提：关于所研究的具体情况或个别事实的判断。
- ③ 结论：由大前提推出的适合小前提所示情况的新判断。

例如：

所有金属都能导电（大前提，一般性原理知识）

铜是金属（小前提，事实）

铜能导电（结论）

在任何情况下，由演绎推导出的结论都蕴涵在大前提的一般性知识中。只要大前提和小前提是正确的，则由它们推出的结论必然是正确的。

（2）归纳推理是从足够多的事例中归纳出一般性结论的推理过程，是一种从个别到一般的推理。归纳推理可分为完全归纳推理、不完全归纳推理。

① 完全归纳推理是在进行归纳时考察了相应事物的全部对象，并根据这些对象是否都具有某种属性，从而推出这个事物是否具有这个属性。例如，一个班期末考核，考查每个学生的成绩都是合格的，则可以得出结论，全班所有学生期末考核都是合格的。

② 不完全归纳推理是指只考查了相应事物的部分对象就得出了结论。

例如,一个车间某批次产品,经随机抽检三分之一的产品合格,则推论本批次的所有产品合格。

(3) 默认推理又称为缺省推理,是在知识不完全的情况下假设某些条件已经具备而进行的推理。默认推理一般基于常规经验或默认假设进行推理,若没有反例出现,结论就暂时成立。

例如:麻雀是鸟。

默认假设:鸟会飞(基于常规经验的默认规则)。

推理结论:麻雀会飞。

2) 按推理时所用知识的确定性

按推理时所用知识的确定性,推理可分为确定性推理、不确定性推理。

(1) 确定性推理

确定性推理是指推理时所用的知识都是精确的,推出的结论也是确定的,其值或为真,或为假,没有第三种情况出现。演绎推理与归纳推理都属于确定性推理。

(2) 不确定性推理

不确定性推理是指推理时所用的知识不都是精确的,推出的结论也不完全是肯定的。现实世界大多数事物都是不精确的,这些不精确的事物很难用精确的数学模型进行描述与处理,因此,不确定性推理研究应用十分广泛。

以 MYCIN 医学专家系统为例,其中的很多规则都是不确定性规则,带有置信度,因此,该专家系统中的很多推理都是不确定性推理,推理时需要计算推论的置信度。可见,在进行不确定性推理时,需要解决置信度传递的问题。

3.4.2 知识图谱

知识图谱起源于早期的知识表示和推理技术。随着互联网的快速发展,信息量呈指数级增长,传统的知识管理方式难以应对如此庞大的数据。为了更有效地组织和利用这些信息,研究人员开始探索新的方法来表示和推理知识,知识图谱应运而生。它不仅能够表示复杂的知识结构,还能通过推理技术从已有知识中推导出新的信息。随着技术的发展,知识图谱已融合了语义网络、框架模型、谓词逻辑、向量表示等多种知识表示方法,取各方法之长,构建的知识体系兼具直观性、结构性、逻辑性和高效计算能力的特点。它既是一种知识表示方法,也是一种知识应用典型方式。

1. 知识图谱的基本概念

知识图谱是一种通过图形化结构来表示知识和信息的形式,它通过实体与实体之间的关系来描述、组织知识。实体是知识图谱中的基本单位,指的是可以独立存在的具体或抽象的事物。实体可以是人、地点、组织、产品、事件等,实际上几乎任何事物都可以作为实体来进行建模。属性是描述实体的特征或性质的要素,为每个实体提供了丰富的上下文信息,使得知识图谱不仅能够识别实体,还能理解它们的特征和状态。关系是知识图谱中用来表示实体之间联系的要素,关系可以是单向的,也可以是双向的,它们定义了实体之间的各种互动和依赖。实体、属性、关系构成了知识图谱的基本单元,并且通常以圆圈和连线来展示实体和关系,如图 3-11 所示,每个圆圈代表一个实体,它们之间的连线则表示不同实体之间的联系。例如,“C 罗”是一个实体,“金球奖”也是一个实体,它们俩之间有一个语义关系就是“获得奖项”。“运动员”“足球运动员”都是概念,后者是前者的子类(对应于图中的子类关系)。“运动员”“足球运动员”都是概念,后者是前者的子类(对应于图中的子类关系)。这种图形化的表示方式使得复杂的知识体系变得直观易懂。

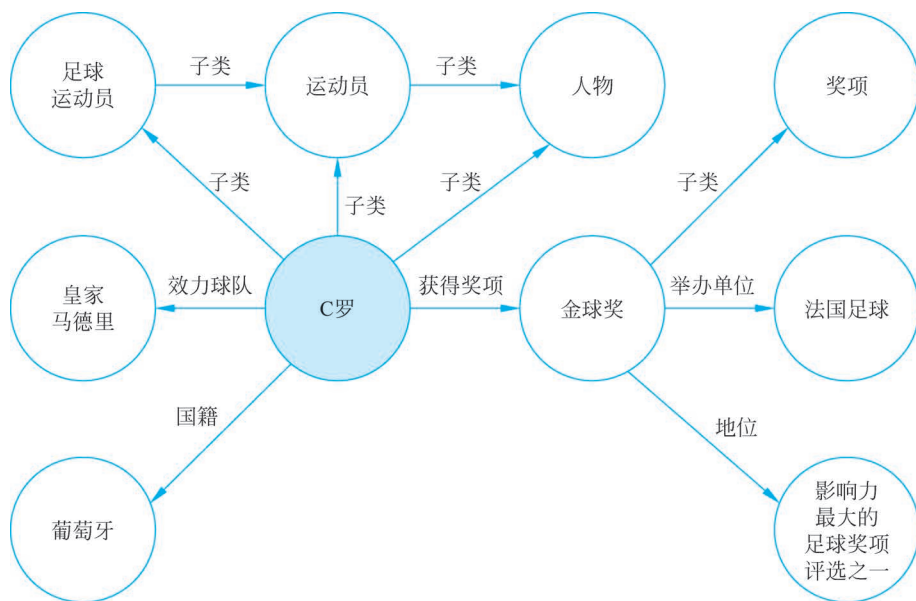


图 3-11 知识图谱局部示例

现实世界中的很多场景非常适合用知识图谱来表达。例如,在一个社交网络图谱里,既可以有“人”的实体,也可以包含“学校”的实体。人和人之间的关系可以是“朋友”关系,也可以是“同学”关系。人和学校之间的关系可以

是“在读”或者“毕业”的关系。每个人又可以有“专业”“年级”等属性。知识图谱应用的前提是已经构建好了知识图谱,因此也可以把它看作一个知识库。这也是为什么它可以用来回答一些与医学相关的问题,如在医学知识图谱中输入“什么是胰腺癌的主要症状?”可以直接得到答案,如“黄疸、体重减轻、腹痛等”。这是因为在系统层面上已经创建好了一个包含“胰腺癌”这一疾病及其相关症状的实体,以及这些症状之间的关系。因此,当进行查询时,系统可以通过关键词抽取(如“胰腺癌”“症状”“黄疸”等)以及知识库的匹配,直接提供最终的答案。这种搜索方式与传统的医疗信息检索系统不同,后者往往返回的是相关网页和文献,而不是直接的答案,因此用户需要自行筛选和过滤信息。知识图谱使得信息获取变得更加高效和精确,极大地提升了医生和患者获取医学知识的便利性。

2. 知识图谱的构建

构建知识图谱的过程涉及多个步骤,涵盖了从获取原始数据到融合、清理以及更新、维护知识、分析与推理的全过程。构建知识图谱的关键步骤如下。

步骤 1: 确定实体、属性和关系等知识元素。

步骤 2: 收集数据。收集与目标实体相关的数据。

步骤 3: 数据预处理。对收集的数据进行清洗、去重及标准化等处理,以便于后续的知识表示与处理。

步骤 4: 知识表示。将实体、属性和关系等知识元素表示为节点、边和链接等形式。

步骤 5: 构建网络。将知识表示的结果构建成语义网络。

步骤 6: 分析和推理。通过分析语义网络的结构、关系和属性等信息,得到实体之间的关系和属性。

构建知识图谱是一项复杂而持续的工作,需要综合利用多种数据处理技术与自动化工具,以确保知识图谱的准确性、完整性和时效性,有效地组织和利用复杂的知识体系,实现对知识的有效管理和利用。

3. 知识图谱的应用

知识图谱作为一种用于表示复杂关系和知识结构的工具,在不同领域的应用潜力巨大。随着各类数据的快速增长,知识图谱能够有效地整合、管理和利用这些信息,从而提高决策的质量、效率和准确性。

1) 辅助决策系统

辅助决策系统是知识图谱在各个领域的重要应用之一。这些系统利用知识图谱的语义表示和推理能力,帮助决策者在各类情境中做出更为精准的选择。例如,某医疗机构进行经营决策,系统知识图谱会整合医疗机构财务数据、全院 KPI 数据、医生患者数据等信息,推导出该机构面临的行业竞争环境,评估本机构经营风险和发展机会等。如图 3-12 所示为某医疗机构智能辅助决策系统的基本组成示意图。



图 3-12 某医疗机构智能辅助决策系统

2) 信息检索

知识图谱在信息检索中的应用十分广泛。例如,在法律领域,律师和法律顾问常常需要快速找到相关的案例和法律条款。传统的信息检索方法往往依赖关键词匹配,而知识图谱则通过结构化的语义关系,实现了更为精准的信息定位。例如,通过输入某一法律问题,系统能够快速识别相关的判例及法律法规,并基于图谱中的关系提供更加细致、关联度更高的检索结果,提高信息获取的效率。

3) 智能问答系统

知识图谱适用于教育、客户服务等领域的智能问答系统。通过构建特定主题的知识图谱,系统能够理解用户提出的各种问题,并根据图谱中的关系提供准确的答案。例如,在教育领域,学生可能会询问“如何准备研究生入学考试?”或“量子力学的基本概念是什么?”,知识图谱可以通过分析问题中的

关键词,在图谱中快速找到相关的信息和指导,从而实时提供回答。这种智能问答系统不仅提升了用户的体验,也减轻了教师或客服人员的工作负担。图 3-13 是用户询问问答系统“姚明妻子出生地是哪里?”时智能问答系统的工作过程。

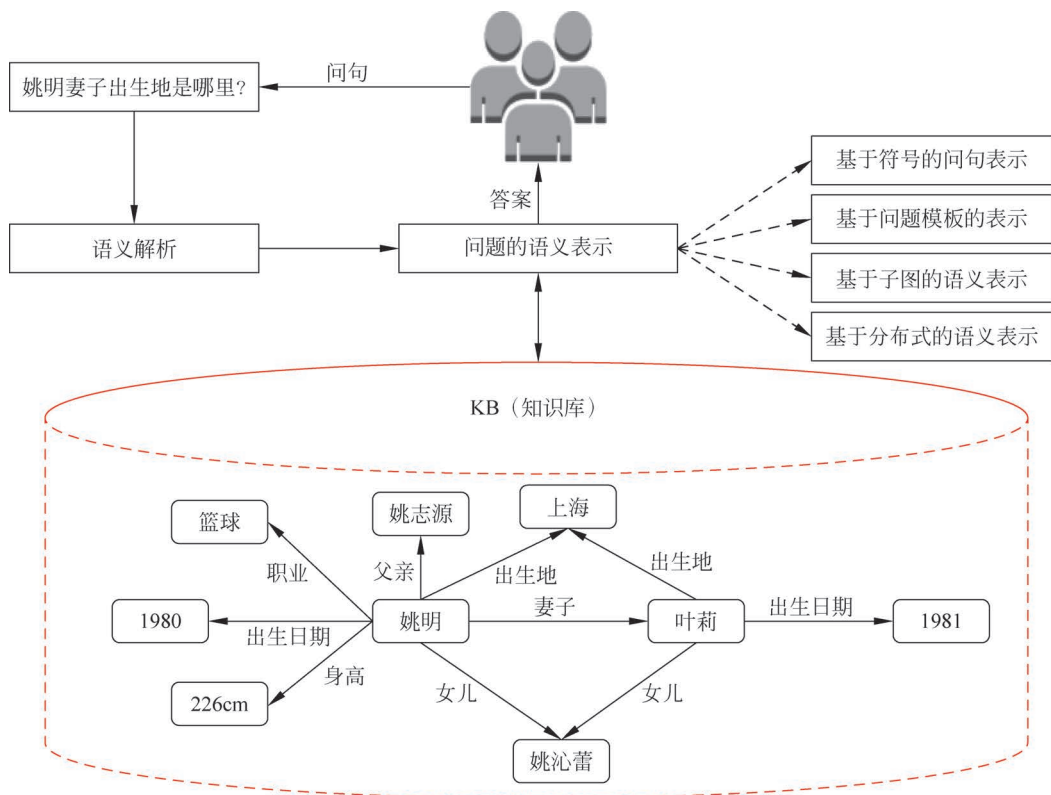


图 3-13 智能问答系统

知识图谱在不同领域的应用不仅提升了服务的质量和效率,也为研究人员和决策者提供了更为全面的知识支持。随着人工智能、大数据等技术的发展,知识图谱将继续在商业、法律、教育、市场研究等领域发挥更大的作用。知识图谱的构建与应用不仅丰富了信息的组织方式,也为未来的智能决策提供了坚实的基础,预示着信息处理和利用的新时代的到来。

知识图谱是人工智能知识表示和知识库在互联网环境下的大规模应用,显示出知识在智能系统中的重要性,是实现智能系统的基础知识资源。目前知识图谱的研究热点有以下几个方面。

(1) 研究建立知识图谱构建的平台。

- (2) 研究知识表示和获取的新理论和新方法。
- (3) 研究如何进一步推进知识驱动的智能信息处理应用。

小 结

本章围绕知识表示与推理展开。知识表示是将人类知识形式化以便计算机处理,其目标包括有效存储、高效处理等,介绍了谓词逻辑、产生式等多种知识表示方法,以及知识获取的人工和自动途径,还有知识存储、更新与管理的相关技术。知识推理是从已知推新知的过程,分为演绎、归纳等类型。知识图谱作为知识组织方式,在构建和应用上融合多种技术,在语义搜索等领域发挥重要作用,是知识表示与应用的关键。

习 题

1. 什么是知识表示? 知识表示的目标是什么?
2. 谓词逻辑和产生式系统分别如何表示知识? 请举例说明。
3. 什么是推理? 按推出判断的途径,推理可分为哪几类?
4. 知识更新中的“增量更新”和“版本控制”分别指什么?
5. 构建知识图谱的关键步骤是怎样的?