第3章

知识智能

人类认识世界积累了知识，知识的综合运用涌现出智能。用符号化来描述知识，用推理来利用知识，让计算机模仿人类思维产生智能，这一思路在人工智能发展初期占据主导地位，由此发展出知识驱动的专家系统，为特定领域提供智能决策支持，以及目前在搜索引擎和推荐系统中广泛应用的知识图谱。本章简介知识智能，主要介绍知识图谱技术及其应用。

3.1 知识表示方法

3.1.1 知识概述

1. 知识

知识是人类在改造客观世界的实践中积累起来的认识和经验。它是把有关信息关联在一起形成的信息结构，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。

（1）按知识的适用范围划分

① **常识性知识：**指普通人在日常生活、社会交往中所积累和知晓的普遍事实与基本认知，是大多数人所共有的知识体系，涵盖了对世界、自然、社会、人类行为等方面的基础性认识。例如，太阳东升西落、货币是商品交换的媒介等。

② **领域性知识：**指在特定的专业领域或学科范围内，经过系统研究、实践积累和专业训练所形成的具有专业性、深度性和系统性的知识体系。它是某一领域内的专家所掌握的专业知识和技能，用于解决该领域内的特定问题和推动该领域的发展。例如，疾病的症状与治疗方法、牛顿力学定律、编程语言等。

（2）按知识的类型划分

① **描述性知识：**用于描述事物的属性、事实、概念或关系。例如，三角形有三条边、北京是中国首都。

② **判断性知识：**基于描述性知识，通过比较、推理、归纳等思维过程形成，用于对事物进行分析、评价、推理或决策。例如，“如果下雨，地面会变得湿滑”。

③ **过程性知识：**用于描述完成某项任务的步骤、方法或技能。例如，用电饭锅煮米饭的步骤包括“洗米→加水→启动→等待煮熟”。

2. 知识表示

知识可以用人能识别和理解的形式，如语言、文字、图形等描述。但对于计算机系统来说，知识表示是一种计算机可以接收的、用于描述知识的数据结构和处理机制的总称。它是一组约

电子工业出版社有限公司 版权所有

定，其本质是将现实世界中的知识转换为机器能够识别和处理的形式化数据结构或符号系统，并且能够被计算机利用来解决各种问题。

在人工智能发展的历程中，出现过很多种知识表示方法，每种方法都有其适用场景和局限性，但存在一定的表达兼容性，即它们描述的知识本质一致，仅形式不同。以知识表示为基础，可从已知的知识出发，利用逻辑推理和知识计算方法获取知识或得出新的结论，给问题找到一个合理答案。

（1）逻辑表示法以谓词形式来表示动作的主体、客体，是一种叙述性知识表示方法，主要分为命题逻辑和谓词逻辑。例如，用谓词逻辑表示“所有的自然数都是大于或等于零的整数”可定义谓词：$N(x)$ 表示 x 是自然数，$I(x)$ 表示 x 是整数，$\mathrm{GZ}(x)$ 表示 x 是大于或等于零的数，则可表示为 $(\forall x)(N(x)\rightarrow(\mathrm{GZ}(x)\wedge I(x)))$ 。

（2）产生式表示法，又称规则表示法或 IF-THEN 表示法，描述为“条件—结果”形式。例如，在医学诊断系统中的某规则：“IF 该生物的染色斑是革兰氏阴性，微生物的形状呈杆状，病人是中间宿主，THEN 该微生物是绿脓杆菌，置信度为 0.6。”置信度表示该规则的可靠程度，取值范围为 0～1。

（3）框架表示法。框架是把某一事件或对象的所有知识存储在一起的一种复杂的数据结构，其主体是固定的，表示某个固定的概念、对象或事件，其下层由一些槽组成，表示主体每个方面的属性。例如，描述一个人的框架(姓名:张三, 年龄:30, 性别:男, 职业:教师)。

（4）语义网络表示法通过网络图来表达概念及其语义关系。从图论的观点看，语义网络是一个“带标识的有向图”。例如，要用语义网络表示“东华大学位于上海市，建立时间是 1951 年”，可以用节点分别表示东华大学、上海市、1951 年，并用相应的边表示它们之间的关系“位于”和“建立”。

（5）本体表示法。本体是一个形式化的、共享的、明确的、概念化的规范，其核心是对领域内的概念及概念之间语义关系进行抽象建模。用本体来表示知识的目的是统一应用领域的概念，并构建本体层级体系来表示概念之间的语义关系，实现人类、计算机对知识的共享和重用。例如，在医学领域，可以构建一个医学本体，包括疾病、症状、治疗方法等概念及其之间的关系。

不同知识表示方法的适用场景各有侧重，例如，逻辑表示法适合严谨推理，语义网络适合直观展示概念关系，本体表示法适合领域知识共享，实际应用中常结合多种方法使用。

3.1.2 语义网络

语义网络最初作为一种人类联想记忆的心理学模型于 1968 年被提出，在 20 世纪 70 年代初由西蒙等人引入人工智能领域，在自然语言理解研究中用于知识表示。

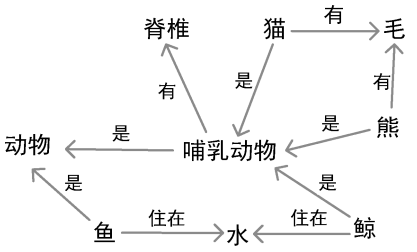

图 3.1 语义网络示例

语义网络用相互连接的节点和边构成的有向图来表示知识。节点代表实体，可以是事物、概念、情况、属性、状态、事件、动作等。边上带有明确的关系名称，用于表示实体之间的语义关系，例如，实例、类属、成员、属性、包含、时间、位置、相近等关系。图 3.1 是一个描述动物的语义网络，其中动物、哺乳动物、猫、鲸等是概念，毛是属性；边上的语义关系有“是”、“有”和“住在”。

电子工业出版社有限公司 版权所有

语义网络具有以下优点。

① 直观易理解，以图形方式展示复杂的信息结构和知识。

② 具有层次结构，上层节点更抽象，下层节点可继承上层节点的属性，实现信息共享，并可通过关系进行推理。例如，猫是哺乳动物，哺乳动物有脊椎，推理可知猫有脊椎；鱼住在水（里），鲸住在水（里），推理可知鱼和鲸有相似的生活环境。

③ 可扩展性强，可轻松添加、删除或修改节点和边以适应新知识需求。

语义网络也有缺点：随着节点和关系的增加，语义网络可能会变得极为庞大，难以维护和管理；存在语义歧义问题，同一节点在不同上下文中可能有不同解释，增加了理解和处理的难度；在处理大规模语义网络时，计算资源的消耗较大。

3.2　知识图谱及其应用

3.2.1　认识知识图谱

1．知识图谱概念

知识图谱（Knowledge Graph）是在语义网络基础上发展起来的一种大规模、结构化的知识库，它采用“实体-关系-实体”或“实体-属性-值”三元组作为基本表达形式，对现实世界中的事物及它们之间的语义关系进行规范化建模。与早期的语义网络相比，知识图谱更强调数据的规模、质量以及面向大规模数据的高效存储、查询与推理能力。

美国谷歌（Google）公司于 2012 年在其搜索引擎中正式应用了知识图谱技术，通过整合维基百科、Freebase 等数据源，在搜索结果中直接呈现结构化的知识卡片，极大提升了搜索质量和用户体验，也让“知识图谱”这一术语迅速走入大众视野。

三元组是知识图谱的基本组成单位，每个三元组都是一条知识，对应一条现实世界中的事实，是对实体、概念及其相互关系的具体描述。例如，“中国-首都-北京”是一个“实体-关系-实体”三元组，明确表述了中国和北京之间存在首都的关系，这种关系是客观存在且明确的事实；“长江-长度-约 6300 千米”是一个“实体-属性-值”三元组，通过属性“长度”将实体“长江”与具体的值“约 6300 千米”联系起来，这是关于长江的一个具体事实。

知识图谱包含海量知识，并且支持知识间的深层次关联和利用。谷歌知识图谱推出时有约 5 亿个实体和 35 亿个事实，2023 年 3 月，规模达到约 80 亿个实体和 8000 亿个事实。2020 年 8 月，百度知心知识图谱的规模也达到约 50 亿个实体和 5500 亿个事实。它们为搜索引擎返回高质量结果提供了丰富、准确和关联的知识基础。

2．知识图谱分类

按照知识的覆盖范围，知识图谱可以分为通用知识图谱和领域知识图谱。

（1）通用知识图谱

通用知识图谱面向大众通用知识需求，以常识性知识为主，覆盖面广，涵盖众多领域的大量实体和概念，通过不同领域间实体的关系形成多维度的知识网络。通用知识图谱强调知识的广度。例如，谷歌、百度知心知识图谱等都包含了人物、地点、历史事件、科学知识等各类信息，应用于搜索引擎、推荐系统、问答平台等，帮助用户获取更全面、广泛的知识，提升信息检索和推荐的准确性与丰富度。

电子工业出版社有限公司 版权所有

（2）领域知识图谱

领域知识图谱是针对特定行业或领域构建的结构化语义知识库，其聚焦该领域的专业知识，通过精准抽取实体、属性及实体间关系形成具备深度语义关联的知识网络。领域知识图谱相对于通用知识图谱一般实体数量较少，但强调知识的深度，对该领域内的实体及实体间关系进行精准、细致的抽取与梳理，应用于领域内的智能化服务场景，为专业问题提供精准、深入的知识支持和解决方案。例如，金融领域知识图谱涵盖金融机构、金融产品、市场行情、风险评估等专业知识，可用于风险预测、投资决策等；医疗领域知识图谱则着重疾病症状、治疗方法、药物、医学影像等方面的知识，用于辅助诊断、药物研发等。



图 3.2　美团大脑包含的内容

IBM 于 2015 年推出 Watson Health AI 医疗系统，以医疗领域知识图谱为核心知识基础之一，结合自然语言处理与推理技术，实现疾病与治疗方案推荐。据报道，其给出的乳腺癌治疗方案与人类专家建议的一致性达到 93%。

美团 2018 年起构建的餐饮知识图谱“美团大脑”（图 3.2），通过对美团业务中千万级的商家、十亿级的商品与菜品、数十亿级的用户评论和百万级的场景深入理解来构建用户、商户、美食和场景之间的知识关联，不仅支持融合时空维度、千人千面的个性化餐饮推荐，同时支持面向企业的运营分析能力。

电子工业出版社版权所有

3.2.2　构建知识图谱

构建知识图谱是一项繁重而细致的工作，早期以人工标注为主，效率低下。目前已形成“自动+半自动”的主流模式，其核心是利用自然语言处理技术（包括大语言模型）自动抽取数据源中的实体、属性与关系，再结合人工校验提升知识质量。下面结合一个旅游知识图谱案例简介其构建过程。

1．数据模式设计

知识图谱逻辑上由数据模式层（Schema Layer）和数据层（Data Layer）构成。数据模式是对知识图谱中数据的结构和约束的一种抽象描述，其定义了知识图谱中存在哪些类型的实体、关系和属性，是知识图谱的蓝图或框架，类似于数据库中的表结构。例如，旅游知识图谱可以规定景点实体具有名称、地址、开放时间等属性，以及景点与周边酒店之间的关系等。数据层是在数据模式所定义的框架下采集的具体实例信息，是知识图谱的核心内容，用于存储具体知识，类似于数据库表中的记录。数据以三元组的形式描述，例如，“东方明珠塔-位于-上海浦东新区”或“和平饭店-附近-外滩”。

数据模式设计是知识图谱构建的基础环节，在明确数据源范围与需求后开展，需确保模式的准确性、完整性与数据适配性。领域知识图谱的数据模式通常采用自顶向下和自底向上结合的方法设计。

① 自顶向下：在顶层定义核心概念，逐步细化到底层的实体与属性。

② 自底向上：从具体的实例中抽象概念，逐步汇总形成整体模式。

构建图 3.3 所示的旅游知识图谱数据模式，首先采用自顶向下的方法由专家定义概念关系，例如，先定义“景点”、“酒店”和“餐厅”等核心概念，并根据旅游需求逐步细化到属性级别，

例如，景点的门票价格、开放时间、地址等。然后利用自底向上的方法通过示例抽象进行补充完善，例如，在分析旅游攻略文本时，发现大量诸如“豫园灯会”、“外滩光影秀”和“新天地新年倒计时”等具体事件，通过聚类和抽象，可以提炼出“活动”这一新的事件类型，并补充到数据模式中，丰富知识图谱的表达能力。

2．知识抽取与融合

根据数据模式的内容需求，从各种数据源中进行知识抽取，形成事实三元组，就得到知识图谱的数据。数据源可能是业务系统中的结构化数据，如关系型数据库中的表；也可能是半结构化数据，如 Excel 表格、包含统一标记的网页等；还可能是非结构化数据，如纯文本的旅游攻略、用户评论等。在旅游知识图谱中，餐饮信息可能来自餐饮数据库，酒店、公园景点信息可能来自旅游网站，文化活动信息可能来自相关文件。

知识抽取要根据数据源的特点采取不同的方法（图 3.4）。对结构化数据，可通过数据映射规则直接抽取三元组，例如，将“景点”表的景点名作为实体，地址、开放时间等字段作为属性值。对非结构化数据，如旅游攻略文本，可采用机器学习的自然语言处理算法自动抽取，利用命名实体识别算法识别“豫园”和“外滩”等实体；利用关系抽取算法识别“豫园-附近-外滩”等关联；利用属性抽取算法获得“豫园-票价-30 元”等信息。对半结构化数据可结合上述两种方法。此外，知识抽取可邀请领域专家进行检查和补充。

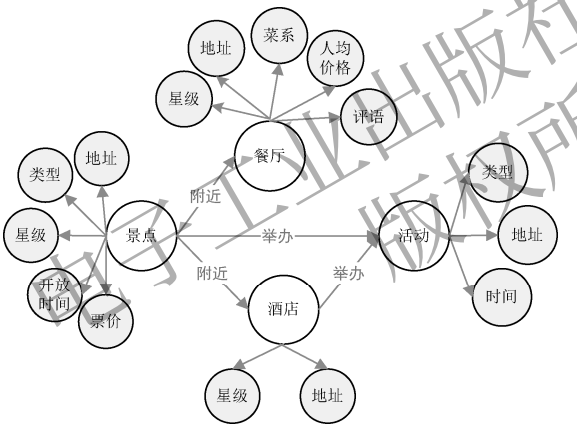

图 3.3　旅游知识图谱数据模式

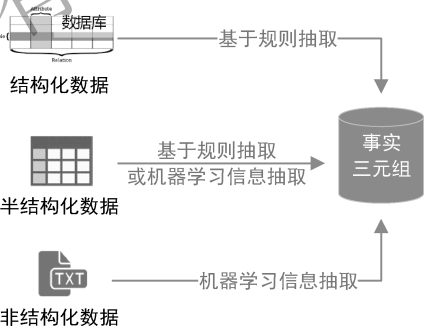

图 3.4　不同类型数据源的知识抽取方法

由于数据源的多样化，可能产生实体重复、缺失或有歧义、关系不明确等问题，因此在知识抽取的同时或之后，通过知识融合进行规范化整合。知识融合主要包括实体对齐（识别并合并指向同一现实世界对象的多个实体）、属性融合（统一属性名称与格式）、冲突检测与消解（处理不同来源的矛盾信息）等环节。例如，将“东方明珠塔”与“东方明珠电视塔”映射为同一个实体，分配唯一标识符，进行实体对齐；统一“门票价格”与“票价”为同一个属性，进行属性融合；对“豫园票价 30 元”与“豫园票价 40 元”来自两个不同渠道的不一致属性值，通过权威数据源进行校验以确定正确值，消解冲突。

图 3.5 所示是根据图 3.3 的旅游知识图谱数据模式从数据源进行知识抽取得到的一些事实三元组实例，例如，“豫园-地址-黄浦区”、“豫园-票价-30 元”、“豫园-附近-绿波廊餐厅”、“豫园-举办-灯会”和“灯会-开放时间-1.1～2.22”等。

电子工业出版社有限公司 版权所有

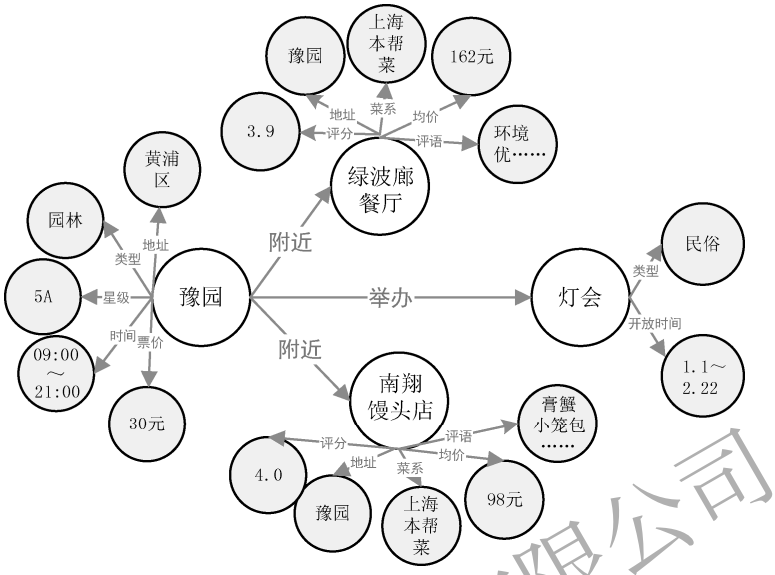

图 3.5　图 3.3 的旅游知识图谱事实三元组实例

3．知识存储

将知识抽取获得的事实三元组保存到数据库中，可以为后期使用提供支持。知识存储需根据数据规模与查询需求选择数据库：中小型知识图谱可采用 Neo4j 等图数据库，其支持高效的关联查询；小规模场景也可使用 MySQL 等关系型数据库；大规模知识图谱则可采用分布式图存储方案，如 NebulaGraph 或混合存储架构。除了三元组信息，复杂的知识图谱还可能包括事件信息、时态信息等。

3.2.3　知识图谱应用

在知识图谱的结构化语义网络基础上，通过一系列规范化的计算与操作，实现知识的查询、推理、分析、挖掘与验证，其核心目标是从已有知识中挖掘隐含关联、生成新知识，为智能应用提供深度信息支撑。

1．知识查询

知识查询的目的是根据需要将存储的知识找出来并呈现给用户。图数据库提供了专门的查询语言，如 Neo4j 的 Cypher 语言、Apache TinkerPop 的 Gremlin 语言等，可以灵活实现知识查询。例如，“请推荐豫园附近的上海特色餐厅，人均 100 元以内”，系统可通过查询知识图谱，按评价优先级排序返回多个结果：“南翔馒头店，人均 98 元，特色膏蟹小笼包；上海德兴馆，人均 85 元，特色德兴汤包……”。

2．知识推理

知识推理是指基于知识图谱的语义网络，采用各种推理方法来发现新的实体、关系和属性。常用推理方法如下。

① **基于规则的推理：**整理和存储相应的业务规则知识，使用规则引擎推理。例如，根据规则“5A 级景区具有高质量设施”，知识图谱中有“豫园-星级-5A”，可以推理得到“豫园具有高质量设施”。基于规则的推理准确率高、可解释性强，但需要依赖人工制定规则，覆盖范围有限。

② **基于统计的推理：**利用知识图谱中的数据统计信息进行推理，如通过计算实体之间的共

电子工业出版社有限公司 版权所有

现频率、关联强度等来发现潜在的关系。例如，通过统计旅游知识图谱中的共现频率，发现游客游览景点“豫园”后，80%会接着游览“城隍庙”，可推理出这两个景点存在强顺序关联，进而在规划旅游路线时将它们串联推荐。这种推理基于已有数据的统计结果，无需人工预设规则，但结果具有概率性。

3．知识分析

知识分析主要基于图论的相关算法对知识图谱中的显式结构进行度量，计算节点的重要性或节点间的连接路径。

① **中心性分析：**通过计算知识图谱中实体的中心性指标来确定关键的实体或节点。

度中心性：衡量实体与其他实体的关联紧密程度，度中心性高的实体是知识图谱中的热门枢纽，例如，东方明珠塔关联了众多酒店、餐厅、交通节点。

接近中心性：衡量实体快速到达其他实体的能力，接近中心性高的实体能快速连接到知识图谱中的其他各类实体，例如，人民广场体现了其地理或概念上的中心位置。

中介中心性：衡量实体在知识图谱中的桥梁作用，中介中心性高的实体常作为连接不同区域的桥梁节点，例如，南京东路步行街连接了外滩和豫园，在路线规划中起到关键的连接作用。

② **路径分析：**分析知识图谱中实体之间的路径，发现不同实体之间的联系和传播路径。例如，结合前面基于统计的推理发现的“豫园→城隍庙”强顺序关联，系统可以分析出游客从“南京东路步行街”到“外滩”再转往“豫园”的最优游览顺序，从而为游客提供合理的路线规划建议。

4．知识挖掘

知识挖掘利用各种人工智能算法，从知识图谱的隐式模式中学习规律，从而发现不易直接观察到的知识或结构，获得隐含的更深层次的知识。常用算法如下。

① **聚类算法：**根据实体的属性、关系结构等将相似的实体聚类到一起，形成不同的实体簇，从而发现知识图谱中的潜在结构和模式，可用于知识图谱的压缩、可视化和实体分类等任务。例如，用聚类算法将旅游景点按照地理位置、主题类型等进行聚集，可发现历史文化旅游社区、自然风光旅游社区等，方便给游客快速推荐感兴趣的景点。

② **图神经网络：**知识图谱中的数据天然呈现图的形态，图神经网络是一类专门处理图结构数据的深度学习模型，其核心是将知识图谱中的实体和关系编码为低维向量（嵌入表示），从而有效捕捉知识图谱中的多跳关联与全局结构信息。例如，用户搜索“东方明珠塔”时，模型能通过“东方明珠塔（景点）-附近-地铁站（交通）-关联-共享单车停放点（出行）-周边-特色餐饮（餐厅）”的多跳关联，推荐兼顾文化体验和便捷出行的完整方案。

5．知识图谱应用场景

知识图谱作为一个知识库，可以通过知识计算结合自然语言处理和可视化技术等呈现图文、语义丰富的智能服务，在营销、金融、医疗、制造、教育等各行业领域都可以发挥作用。

（1）语义搜索。其核心是理解用户查询中的实体及其意图关系，在知识图谱中进行语义匹配和搜索，返回更精准和全面的搜索结果。例如，用户问：“上海有哪些夜景景点？”系统首先识别出“上海”是一个城市实体，“夜景景点”是一类具有“适合夜游”属性的景点实体，然后在知识图谱中查询与“上海”存在“位于”关系且具有“夜景”属性的景点，最终返回外滩、东方明珠塔等精准结果。

（2）智能问答系统。利用知识图谱中的知识和计算能力，回答用户提出的自然语言问题。

电子工业出版社有限公司 版权所有

例如，用户问：“上海有哪些适合亲子游玩的景点？”与语义搜索返回列表不同，智能问答系统需要将查询结果组织成自然语言来回答，例如，“上海适合亲子游玩的景点包括上海迪士尼乐园、上海科技馆和上海野生动物园，其中迪士尼乐园以童话主题闻名，科技馆有许多互动展览。”这需要综合实体识别、关系推理、答案排序和自然语言生成等多种技术。

（3）个性化推荐。根据用户的兴趣、偏好和行为历史，结合知识图谱中的知识，为用户提供个性化的推荐服务。例如，为喜欢历史文化的游客推荐上海博物馆、广富林遗址公园等。

（4）辅助数据分析。利用知识图谱中的实体、关系和属性等信息，帮助理解数据的语义关联和业务背景。例如，在医疗大数据分析中，通过知识图谱可以快速关联患者的症状、疾病、治疗方法等信息，为疾病诊断和治疗方案的制定提供更全面的依据。

（5）企业知识管理。将企业内部的各种知识资源，如企业人员关系、管理制度、产品知识、客户关系等，进行整合、组织，构建企业级知识图谱，可以在企业范围内共享知识，提高工作效率和决策能力，辅助新产品设计、营销策略制定、设备运维、客户服务优化等。

（6）辅助大语言模型应用。大语言模型采用大数据进行训练，具有丰富的知识和推理能力，但也有幻觉、缺乏特定领域知识、回答解释性差等问题，知识图谱与大语言模型结合，能够有效弥补模型的短板，提升其服务的准确性、可解释性与领域适配性。大语言模型可以在以下几个方面结合知识图谱。

① **训练大模型。**知识图谱可转换为自然语言形式的文本，如(上海,位于,中国)转换为“上海位于中国”，用于大语言模型训练或微调，增强模型对特定领域知识的理解支持能力。

② **检索增强生成。**利用检索增强生成（Retrieval-Augmented Generation，RAG）技术将知识图谱作为外部知识源，检索相关事实作为上下文补充到提示词中，提高模型生成答案的准确性，减少幻觉。

③ **解释生成。**结合知识图谱进行预测或生成文本时，可以追溯到知识图谱中的特定事实或规则，从而提高模型的可解释性，增强用户对模型决策的信任度。例如，推荐“豫园”时，可追溯“豫园→5A 级景区→高观赏价值”的路径，增强模型决策的可解释性。

知识图谱的核心价值在于打通异构数据，建立结构化语义关联，通过知识计算将静态的知识转化为动态的智能服务，成为各行业智能化升级的知识支持。

实验与思考

实验目的：认识和体验知识图谱，并尝试使用知识图谱辅助进行文献分析。

实验环境：超星平台、Excel、Neo4j、CiteSpace。

实验任务：

1．体验知识图谱的应用。

在超星平台选择一门提供知识图谱的课程，分析给出知识图谱的数据模式，观察并统计该课程的知识图谱信息：① 实体类型，如知识点、习题、案例等，以及每种类型的实体数量；② 关系类型，如包含、关联、前置等，以及总关系数；③ 关联的资源类型，如视频、文献、测验题等，以及各类资源的数量。

结合平台功能体验感受与资料查询，分析知识图谱在网络智能教学中的作用。

2．体验知识图谱的构建。

安装 Neo4j 数据库。选择一个熟悉的领域（如体育、动漫、植物、食物等），列出 10 个实

电子工业出版社有限公司 版权所有

体和 5 种关系，并生成 20 个相互关联的三元组，形成一个连通的小型知识图谱。

① 用 Excel 表格记录三元组(实体 1,关系,实体 2)保存为 UTF-8 编码的 CSV 文件；

② 在 Neo4j 中使用导入功能将 CSV 文件中的数据导入；

③ 用 Neo4j Browser 可视化图谱，观察实体与关系的连接结构。

3．使用知识图谱辅助进行文献分析。

① 使用基于文献关系网络的分析工具 Connected Papers[①]（免费）辅助进行文献分析。该工具通过计算论文间的共被引或参考文献耦合关系来生成论文的关联网络图，虽然不同于严格意义上的三元组知识图谱，但体现了图结构在文献分析中的价值。输入一篇核心论文即可生成相关联论文的知识图谱，单击节点可查看论文的摘要/引用，可导出知识图谱 PNG 图像。

② 调研其他基于知识图谱的文献分析工具。专业文献计量软件，如 VOSviewer、CiteSpace 等，功能强大但需要一定的学习成本，可用于分析引文网络、关键词共现等；在线便捷工具，如万方灵析、文渊智阁等，操作相对简单，适合快速探索。尝试利用文献通过引文、关键词、作者、机构等节点构建知识图谱，快速定位研究前沿、演进路径、热点与关键文献。

电子工业出版社有限公司
版权所有

① 网址见前言二维码。