

· 学术探讨 ·

中医药知识图谱的构建与应用探讨

陶雨彤 陈云箜 邵兰仪 刘晓峰 翟双庆 王维广

(北京中医药大学中医学院中医基础理论系, 北京 100029)

【摘要】知识图谱在抽取、交融、分析信息等方面具有明显优势。中医药知识结构复杂、信息量大, 中医药知识图谱具有广泛的研究及应用价值。总结中医药知识图谱构建技术研究现状, 分析其在专业信息检索、可视化分析、智能问答辅助诊疗方面的应用案例, 发现现阶段中医药知识图谱在辨证过程显性化、古今知识融合、原始数据可靠性、理论与临床结合程度以及知识图谱共享平台建设等方面存在不足, 提出创新性建议及对策, 为中医药知识图谱的深入研究提供参考。

【关键词】中医药; 知识图谱; 构建; 应用; 可视化

DOI: 10.16025/j.1674-1307.2022.12.015

知识图谱本质上是一种大规模语义网络 (Semantic Network)^[1], 以可视化图模型的形式将知识和现实世界事物链接起来。其由众多节点和边构成, 其中节点代表客观实体, 边代表实体的属性或实体与实体的关系^[2]。2012年美国谷歌公司正式推出知识图谱搜索引擎服务, 应用于大数据分析、人工智能等多个领域。

随着医疗信息化时代的到来, 面对错综复杂、涵盖范围广泛、整体关联性极强的中医药数据, 知识图谱作为资料整合和关系重组的重要技术, 以其强大的数据处理分析能力在中医药领域的智能问答、医疗信息检索、临床辅助诊疗应用等方面逐步发挥着重要作用。中医药知识图谱主要分中医情报信息方向的科学知识图谱和中医专业知识方向的语义知识图谱^[3]。现将语义知识图谱讨

论如下。

1 中医药知识图谱构建技术研究

知识图谱构建技术包括知识建模、知识抽取、知识存储、知识融合、知识推理补全等五部分, 研究者根据中医药数据特点选用自顶向下或自底向上的方式构建基础框架, 抽取知识并建立关系, 着重利用知识推理和补全技术对知识图谱进行质量提升, 构建流程见图1。中医药知识图谱构建技术虽然已取得了阶段性成果, 但也存在缺陷和不足, 为知识图谱在中医药领域的智能改进 (借助深度学习训练技术增强隐性知识显性化等) 提供了研究方向。

1.1 知识建模

知识建模^[1], 为了更清晰地呈现实体间关联, 通过基于本体的知识表达方法组织和展示不同类型的知识, 利用形式化的知识表示方法获取语义

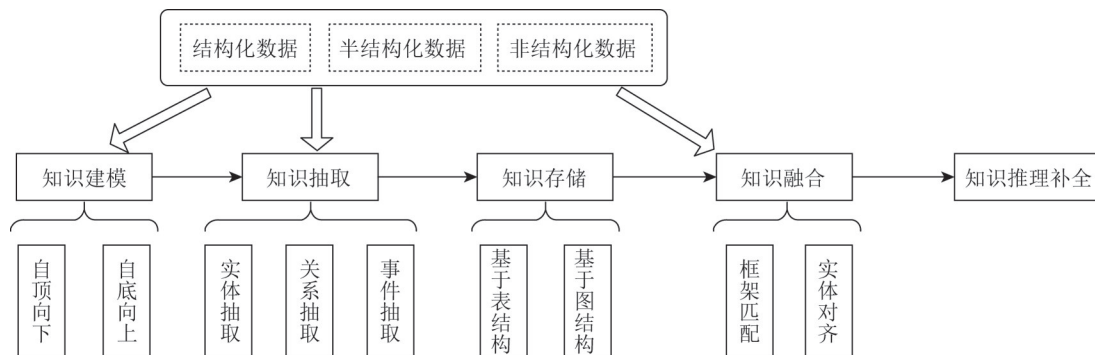


图1 知识图谱构建技术

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFC1709202);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2021-JYB-ZYWJCC003)

作者简介:陶雨彤,女,21岁,大学本科。研究方向:《黄帝内经》理论体系研究。

通信作者:王维广, E-mail:202001031@bucm.edu.cn

引用格式:陶雨彤,陈云箜,邵兰仪,等. 中医药知识图谱的构建与应用探讨[J]. 北京中医药,2022,41(12):1387-1392.

信息,建立知识图谱模型基本框架的过程。根据数据特点和应用模式有 2 种构建方法^[1]。

1.1.1 自顶向下:即用顶层概念通过提取术语、概念学习、关系学习、定义规则等技术构建知识图谱模式层,逐层分类,进行实体链接和实体填充完善数据层。张莹莹等^[4]借助本体概念构建中医知识图谱模式层,通过自然语言处理技术填充数据源,构建数据层。相比传统的关系型数据库,在舌诊辨识过程中速度较快,且跨多重关系查询时速度提升显著。张雨琪等^[5]以寻常痤疮中医药领域文献为数据源,用中医药及相关领域的顶层知识分类标准与术语表,收集文献数据构建名医经验部分。自顶向下模式便于确定中医理论知识的覆盖范围,更有效地收集领域术语,现阶段大部分应用于分类明确、实体关系清楚的中医学子领域。但由于部分中医药领域数据源无法遵循模式层的完整环节,此种构建方法会造成知识框架无法适配各来源数据中多变的体系,故易出现信息缺失的情况,并且中医学有各家学说的特点,对本体有独特的认识,很难建立共识性的本体。

1.1.2 自底向上:即先对从医学数据源中提取到的实体、关系及属性进行归纳,逐步抽象添加到数据层,再经过知识融合和加工,形成顶层模式概念。于彤等^[6]基于“中医养生领域本体”整合已有的数据资源,构建了以语义网络为框架的知识图谱。由于目前已形成了包括中医养生知识的术语系统、文献库和数据库,选用自底向上的构建方法相对更为全面且便捷。郝伟学等^[7]面向中医领域抽取如症状、证候、疾病和中药等概念实体,设计了相应的图谱模式(Schema),其基本类别、类别属性和语义关系的确定具有可变性和全面性。自底向上模式更适用于非结构化中医古籍数据的处理,其能有效解决中医“知识孤岛”问题。但该方法需要专业人员手动归纳,存在工作量庞大、一词多义的问题。在大规模处理数据时,借助机器学习和深度学习以提高知识归纳的效率和准确性,是目前中医药领域知识图谱构建的重点及难点。

1.2 知识抽取

知识抽取技术指依据不同的数据来源,选择自动或半自动的获取方式,从而更有效地抽取到可利用的相关知识。知识图谱的数据来源可分为结构化数据、半结构化数据和非结构化数据 3

类^[8]。以中医医案、中医文献、中医古籍为代表的非结构化数据,可提供大量有意义的“Subject、Predicate、Object”(SPO)三元组事实,但对自然语言分析处理技术要求较高。现阶段,非结构化数据的处理是研究重点,知识抽取包括实体抽取、关系抽取和事件抽取等^[1,9]。

1.2.1 实体抽取:任务目的是从中医自然语言文本中识别实体的前后边界,抽取实体信息元素^[9]。实体抽取是信息抽取中最为基础和关键的部分,而中医学历经千年变迁,古今语义转变给实体抽取的准确性、完整性带来很大问题。目前,研究人员多采用传统的机器学习模型与新型的深度学习技术相结合的方法,如将长短期记忆 LSTM-CRF 模型用于序列标记,但其技术尚不完善。

1.2.2 关系抽取:其中属性抽取是在给定一个实体和一个预定义关系的条件下,从异构信息源如医学词典、主流医学网站等抽取另一个实体,为医学实体构造属性列表,如中药的属性包括药性、药味、归经、功效等^[8]。关系实例抽取则包括判断实体间关系并抽取满足该关系的知识实例数据,如抽取和判断“肺”和“金”之间的语义关系。一般关系抽取主要采用机器学习方法,可以大幅度降低人工抽取工作量,简便高效,但存在机械性、固定性的问题,易忽略中医实体间隐性关系,完整性较低,后期需要人工矫正。

1.2.3 事件抽取:任务目标是从描述事件信息的文本中抽取出用户感兴趣的事件信息并以结构化的形式呈现出来^[10]。戎菲等^[11]基于内容分析法的“实体-属性-关系”抽取及 Neo4j 图形数据库尝试构建痴呆痰瘀互结证知识图谱。事件抽取通过建立多级分类类目,对同一段文本的术语进行重复性、客观化提取,保持了客观性、规范性和系统性,但识别的中医实体中不一定存在关系,易造成关系混乱的问题。

1.3 知识存储

知识存储即为已有的知识图谱完成持久化储存,包括基于表结构的存储和基于图结构的 2 种存储方式。基于表结构的存储如 Google 开放的 Freebase 知识图谱是以文本的形式储存三元组,对于信息量庞大、关系复杂的中医知识搜索效率较低^[9],因此目前多以图数据库进行存储。图数据库通过节点、边和属性对数据进行表示和存储,能够将现实世界中的关联数据直观地用图的形式

表现。目前典型的开源图数据库是 Neo4j, 其具备完善的图查询语言, 支持多数的图挖掘算法。方滔^[12]将所识别的命名实体和抽取出的实体关系导入 Neo4j, 构建了基于中文电子病历的知识图谱。王菁薇等^[13]利用 Neo4j 对《伤寒论》中的知识进行存储, 构建了包含大量中医实体和实体关系的《伤寒论》知识图谱。针对关系复杂的中医药知识, Neo4j 可以将实体、实体间关系转化为直观的结构化图谱, 进行有效的数据管理, 并能应对大规模数据增长。相较于传统的关系型数据库, Neo4j 利用图结构自然伸展的特点, 面对大量中医知识和复杂关系, 仍可以保持较高的查询效率, 但其数据更新慢, 且大节点的处理成本高^[8]。因此, 应综合考虑中医药数据库性能和对后续任务的支持度等问题而合理选择知识存储方案。

1.4 知识融合

知识融合是解决知识图谱异构问题的有效途径, 将来自不同数据源的异构化、多样化的知识在同一个框架下进行消歧、加工、整合等, 达到信息、数据以及人的思想等多角度的融合^[14], 使异构的知识图谱能够相互沟通、相互操作。知识图谱包含描述抽象知识的本体层和描述具体事实的实例层^[2]。知识融合技术针对融合元素可以分为框架匹配和实体对齐二方面^[8]。

1.4.1 框架匹配: 相当于本体层之间的融合, 如对不同来源中药的名称、性味、归经、入药部位等属性进行融合, 根据不同来源出现的次数和可行度进行排序, 补充到相应属性字段中^[11]。

1.4.2 实体对齐: 相当于实例层之间的融合, 相似实例可能指代不同实体, 如“口渴多饮”和“口渴烦饮”; 不同名称实例可能指代同一个实体, 如“手足厥逆”和“四逆”^[4]。由于实体存在歧义问题, 还需进行实体消歧^[16], 如中医术语“水谷精微”中的“水”, 系统需通过实体消歧自动判定出与五行金木水火土中的“水”不是同一实体。中医数据源对于本体和实例的描述存在难以统一、数据质量良莠不齐、知识冗杂、知识歧义、数据格式不统一以及知识间关系不够明确等问题^[15]。目前中医药领域对于知识融合技术的开发应用较少且不够完善。

1.5 知识推理与补全

知识推理指算法通过知识图谱中显式构造的知识推理出隐式蕴含的知识^[16], 用于对知识图谱

进行补全和质量检测等^[1], 以提高知识的完备性、扩大知识的覆盖面^[18]。中医学知识推理也是基于通用的知识推理技术, 推理的对象可以是实体、实体的属性、实体间的关系、本体库中概念的层次结构等^[20], 以此促进中医智能治疗的发展。吴鸿^[19]从《本草纲目》和《中国典型病例大全》中药、方剂、疾病、症状中抽取节点、属性及关系, 建立实体形成较全面的中医诊疗知识图谱, 利用规则推理建立症状与方剂、症状与药物之间的关联。知识推理技术对中医药知识图谱质量完善具有重要作用, 可以提供更加完善的智能推荐服务, 为临床工作者带来了更规范、科学、准确的智能辅助问答体验。但目前中医药知识图谱构建所使用的推理规则和方式比较局限, 无法适应中医知识数据库不断扩大、推理关系复杂度上升、计算量增大等现状, 在深度学习方面需要进一步研究^[21]。

2 知识图谱在中医药领域的应用

目前, 知识图谱将存在于中医古籍、中医医案、名老中医经验访谈等半结构化和非结构化数据架构关联信息, 主要应用于中医药领域的专业信息检索、可视化分析, 并能建立医疗智能服务平台, 为临床工作者、医学研究人员、患者提供便捷服务。而非结构化数据的语义阐释以及智能问答辅助临床诊疗是目前研究的热点及未来需要突破的难点。

2.1 专业信息检索

将知识图谱引入信息检索领域中, 是对传统的基于关键词检索方法的补充。知识图谱借助储存的大量实体与建立的实体间关系, 通过识别检索词条中一个或多个实体及属性, 将关键词进行有效关联, 从而可以更好地理解用户检索意图, 缩小用户需要搜索的范围, 提高检索效率^[9]。目前, 中医药专业信息检索在中医基础理论、方药、方法学等方面的应用越来越广泛, 但在中医临床应用领域的研究较为滞后, 构建的知识图谱大多处于术语本体领域的研究层面, 专业信息检索还需进一步深化。以中医古籍检索为例, 数据多为非结构化文本, 且由于文言文与现代文的语义差异, 对中医古籍关系知识的快速检索与应用有一定的困难。对此, 卢克治^[22]基于深度神经网络的中医古籍实体关系抽取研究以构建知识图谱, 并基于 Neo4j 搭建的前端可视化平台, 为该知识图谱

的查询和利用提供了便捷的技术支持。以中医药信息检索为例,刘禹琪^[23]尝试对中药方、中药材、疾病、功效等相关实体进行有效管理,构建一个准确且具体的中医名方知识图谱,并将该图谱应用于药物重定位,为高效和深层次检索专业信息提供了重要基础。

2.2 可视化分析

知识图谱是图形分析和可视化的基础。目前在中医药领域,知识图谱的可视化分析研究主要以期刊文献为数据来源,运用 Cite Space 软件构建共现图和聚类图,从不同角度解释中医学信息的整体结构特点^[24]。知识图谱理论与方法的可视化研究在中医学领域各学科中尚处于起步阶段,多用于文献计量分析以指导研究方向,但不能用文献计量学结果推断中医理论问题,在对特定中医药领域多层信息的深度整合应用方面有待深入研究。

2.2.1 分析学科动态:可视化分析促进了中医隐形知识到显性知识的转化,有利于解决临床中医师和科研工作者学习与发展的矛盾,使其能从诊疗信息中准确且及时地捕捉学科发展的脉动,以应对快速增长的文献信息量,有助于指导临床及科研。在中医基础理论方面,陈陵芳^[25]将探讨《黄帝内经》病机十九条知识表示为目的,借助科学知识图谱 Cite Space 信息可视化技术,分析相关文献的核心作者发文及被引频次、主要研究机构,以及研究热点、研究前沿和研究趋势,并探讨现有中医智能系统和知识表示方法,分析病机十九条的关系复杂性和知识不完备性。在中医临床方面,牟梓君^[26]构建小儿脑瘫中医诊疗知识图谱,通过可视化分析优化了小儿脑瘫中医诊疗方案,为临床针刺治疗小儿脑瘫的处方选穴提供参考;王淑斌^[27]运用 Cite Space 3.8R1 信息可视化软件对国内中医药治疗 2 型糖尿病研究进行了文献计量分析,为科研工作者指明研究方向,为科学管理者决策提供数据参考。

2.2.2 展示方药关联:可视化分析可以实现对方药等相关实体直观的应用和高效的管理,但仍需不断完善,使知识图谱与中医临床诊疗需求间的联系更加紧密。郭文龙^[17]构建了可共享方剂本体概念,实现了方剂的组成可视化,直观简洁地反映方剂的中药组成、剂量、炮制等信息,以及方剂间的共引关系;张静^[28]运用词频分析法,借助

SATI 3.2 软件和 Ucinet 6 软件,绘制与中药安全、质量及风险相关的高频关键词或主题词的可视化网络图,有助于了解中药安全领域的研究热点及相互关联,以促进中药质量的提高,提升中药安全管理水平,推动中药安全问题的深入研究。

2.3 智能问答辅助诊疗

智能问答系统是一种新兴的信息检索方式,能根据用户输入的问题,给出简洁、精准的答案。知识图谱作为一种基础数据,广泛应用于越来越多的垂直领域中,同时为了落实国家医疗健康建设政策,医疗领域的知识图谱问答系统的构建应运而生^[29],既为普通群众提供了解医学知识的途径,如健康咨询、用药辅助、饮食保健等,又为医学专业人士及患者设立了知识检索入口,包括可提供导诊挂号的移动端医疗助手^[30-31]。

中医药智能辅助诊疗将中医四诊合参、辨证论治的特色与知识图谱、智能问答相结合。陈程等^[32]将中药、症状、疾病等词语进行归类,将问句模板分为“问中药”“问疾病”“问中药与疾病的匹配关系”“问哪些中药”,通过检索知识图谱数据库回答用户提出的问题,加快了用户直接获取信息、知识的速度。任燕春^[33]构建了新型冠状病毒肺炎(简称新冠肺炎)知识图谱智能问答系统,系统能够提供实时的新冠肺炎咨询服务;温思琦^[34]使用中医文献资料构建了中医冠心病本体知识图谱,提供了面向冠心病患者的自动问答系统。这些智能回答系统均可以为患者提供自诊的基本服务,但面向医生提供精准诊断依据和辨证分析过程未充分体现。基于目前中医药资讯鱼龙混杂、中医个性化诊疗及用户缺乏中医药知识等现状,未来亟需建立一个更加科学和客观的智能辅助问答系统的评价体系,提升诊疗过程的高效化和满意度。

3 问题与对策

3.1 存在的问题

3.1.1 辨证过程不明确:中医辨证即将望、闻、问、切四诊所收集的资料、症状和体征加以综合分析,辨清疾病的病因、性质、部位,以及邪正之间的关系,概括、判断为某种类型的证,是中医诊疗的关键环节^[35]。现有的中医药知识图谱中,从医案、临床病例等抽取的数据如症状、证候、方药等内容都属于显性知识,可以用知识图谱直接表示;而医生依据这些内容分析病机(病性、

病位、病因等)的过程,以及图数据来源信息的逻辑规律等隐性知识未充分体现。将实体间及其逻辑关系中的隐性知识显性化,是中医药知识图谱更加可靠的辅助临床诊疗亟需解决的重要问题。

3.1.2 古今知识断裂:由于中医语言的发展、临床模式的变迁等因素,古籍医案与现代中医知识中的实体名称、概念等内容存在较大差别。在抽取非结构化数据时,需要人工将古、今实体名词进行统一性转换标注,而目前大部分研究在知识图谱的构建过程中只对古、今的某个方面进行挖掘,实体转换内容存在差异,如“痰”“饮”“痰饮”的古今意义有相同的内容,也有不同的方面,既要从今意建立联系,也不能忽视古意对应的证治。因此,探索相应的研究方法和技术,以提高知识融合的全面性及准确性,也是目前亟待解决的问题。

3.1.3 针对原始数据的可靠性评价较少:大部分中医药知识图谱数据来源于古籍、医案(包括现代临床验案)等。作者单一的经典名医书籍内容连贯、思想逻辑统一,在抽取并构建知识图谱时便于前后串联,整合相关关系。如王菁薇^[13]等以《伤寒论》为数据源,严格按照条文全面收集“疾病-证候-症状-方药”实体信息,建立逻辑有序的相互关系,使知识图谱更加可靠。而《黄帝内经》《续名医类案》等古籍,或由不同时代多作者综合编撰而成,或集古今名家医案成册,不同医家撰写的医案风格、形式、叙案风格各异,若直接导入实体信息自动化建立关系网络可能存在关联缺失或误差,若人工标注则需要花费大量时间和精力进行前后对比关联。

3.1.4 开放共用的中医药知识图谱较少:学术界对中医药知识图谱的研究逐年增多,现有的构建知识数据库尽管不够全面且存在一定的局限性,但其模式关联化便于科研工作者获取信息,极大缩短了从不同书籍中获取基本信息的时间。而目前中医药领域大部分研究的知识图谱数据并不公开,在进行中医药知识图谱应用研究时,需要从古籍、医案或有限的知识数据库中重新提取导入数据,使实际成果产出周期较长。

3.1.5 核心药物发现与应用不全面:针对古籍与现代临床医案进行数据处理,挖掘有效核心药物及聚类组方,对临床的精准诊疗具有重要指导意义。但目前相关研究较少,仅查询到针对单一疾

病的个案研究,并且很少利用已有中医药知识图谱的结构信息解释理论问题,此为临床应用方面的缺失。

3.2 对策与建议

3.2.1 利用可解释的推荐系统挖掘中医辨证路径:对病机的辨证分析过程是中医理论知识图谱的子图谱,节点间的紧密程度是构建子图谱的关键,基于知识图谱的知识推荐与中医辨证过程相似。利用可解释性推荐模型可以画出“症状-病机-证候-方药”路径,类似在人脑中的隐性辨证过程。如通过多任务特征学习模型的训练,得出各路径上的评分,最终获得推荐过程的路径,用以解释系统的推荐过程。

3.2.2 推动中医药领域知识融合技术的开发:在中医药领域,知识融合的全面且准确是构建并应用知识图谱的可靠保障之一。结合计算机专业和中医药专业人士的校对补充,设计完善实体对齐算法或构建模型,是解决古今知识断裂及其他数据匹配、关系建立问题的重要方法。

3.2.3 针对原始数据进行可靠性评价:对原始数据预处理并进行可靠性评价,是构建知识图谱的重要的前期准备工作,对中医药领域数据溯源及逻辑统一具有长远的应用价值。

3.2.4 建立中医药知识图谱共享管理平台:鼓励科研人员将知识图谱开源共享,上传至涵盖各子领域、不同模式方法的知识图谱管理平台,便于快速获取已有成果信息,减少相似模式的重建,缩短新研究的时间周期,促进实际应用的产出。

3.2.5 密切理论知识与临床诊疗的联系:中医药领域知识图谱的临床应用是体现其价值的关键,用知识图谱技术结合古今经验分析现实病例,对于疑难杂症和常见病多发病的辨证诊断以及遣方用药具有指导意义,有利于守正创新。

在信息化时代,借助知识图谱构建技术,在减少信息遗漏的基础上将错综复杂的中医药数据整合、分析、转化为可视化图谱,建立更为完善的临床智能诊疗平台,对中医药领域守正创新具有重要意义。中医药知识图谱应用还处于探索阶段,构建技术存在标准不统一、缺少原始数据可靠性评价等诸多问题,全面知识融合、原始数据评价、质量控制、知识图谱共享是中医药知识图谱是解决问题的应对策略,建立严谨的质量检测系统,保证知识图谱的完整性和规范性,以及知

识图谱多模态应用为未来研究重点,对于中医药知识图谱的构建与应用提供有益的帮助。

参考文献

- [1] 王昊奋,漆桂林,陈华钧.知识图谱:方法、实践与应用[M].北京:电子工业出版社,2019:1-3.
- [2] 王西锋,张晓李.知识图谱在医疗领域的应用研究[J].宝鸡文理学院学报(自然科学版),2021,41(4):86-90.
- [3] 孙肇阳,黄小圆,许溪彬,等.语义知识图谱与科学知识图谱在中医药领域的应用[J].医学信息学杂志,2021,42(7):38-42.
- [4] 张莹莹.基于知识图谱的舌像诊疗系统研究与构建[D].成都:电子科技大学,2019.
- [5] 张雨琪.寻常痤疮中医药知识图谱构建的关键技术研究[D].北京:中国中医科学院,2021.
- [6] 于彤,李敬华,于琦,等.中医养生知识图谱的构建与应用[J].中国数字医学,2017,12(12):64-66.
- [7] 郝伟学.中医健康知识图谱的构建研究[D].北京:北京交通大学,2017.
- [8] 王松,李正钧,杨涛,等.中医药知识图谱研究现状及发展趋势[J].南京中医药大学学报,2022,38(3):272-278.
- [9] 赵军,刘康,何世柱,等.《知识图谱》[J].中文信息学报,2020,34(9):111.
- [10] 刘峤,李杨,段宏,等.知识图谱构建技术综述[J].计算机研究与发展,2016,53(3):582-600.
- [11] 戎菲,佟旭,胡镜清.中医药知识图谱应用现状分析及痴呆痰瘀互结证知识图谱构建探索[J].世界科学技术-中医药现代化,2021,23(7):2454-2460.
- [12] 方滔.基于中文语言处理和深度学习的医疗知识图谱构建[D].新乡:河南师范大学,2018.
- [13] 王菁薇,肖莉,晏峻峰.基于Neo4j的《伤寒论》知识图谱构建研究[J].计算机与数字工程,2021,49(2):264-267,396.
- [14] 张吉祥,张祥森,武长旭,等.知识图谱构建技术综述[J].计算机工程,2022,48(3):23-37.
- [15] 屈丹丹.基于知识图谱的肺癌医案四诊信息组合规律挖掘研究[D].南京:南京中医药大学,2021.
- [16] 姜博.融合知识库和预训练的因果关系抽取[D].长春:吉林大学,2021.
- [17] 牛千里.基于知识图谱的智能医疗助手设计与实现[D].南京:南京邮电大学,2021.
- [18] 郭文龙.中医方剂知识图谱构建研究与实现[D].兰州:兰州大学,2019.
- [19] 吴鸿.基于本草纲目的中药知识图谱构建及应用研究[D].郑州:郑州大学,2020.
- [20] 徐增林,盛泳潘,贺丽荣,等.知识图谱技术综述[J].电子科技大学学报,2016,45(4):589-606.
- [21] 董文波,孙仕亮,殷敏智.医学知识推理研究现状与发展[J].计算机科学与探索,2022,16(6):1193-1213.
- [22] 卢克治.基于中医古籍的知识图谱构建与应用[D].北京:北京交通大学,2020.
- [23] 刘禹琪.中医名方知识图谱构建与链路预测模型的研究及应用[D].长春:东北师范大学,2021.
- [24] 李新龙,刘岩,何丽云,等.知识图谱研究概况及其在中医药领域的应用[J].中国中医药信息杂志,2017,24(7):129-132.
- [25] 陈陵芳.《黄帝内经》病机十九条知识表示研究[D].长沙:湖南中医药大学,2018.
- [26] 牟梓君.小儿脑瘫中医诊疗知识图谱构建及其隐性知识显性化研究[D].北京:中国中医科学院,2021.
- [27] 王淑斌,陈子杰,程玉娟,等.中医药治疗2型糖尿病知识图谱分析[J].中华中医药学刊,2016,34(9):2082-2087.
- [28] 张静,叶六奇.中药安全研究的知识图谱与主题分析[J].中国药房,2018,29(4):466-469.
- [29] 张金山.基于深度学习的医疗知识图谱问答系统[D].济南:济南大学,2021.
- [30] 王智悦.基于深度学习的医疗知识图谱智能问答研究与实现[D].乌鲁木齐:新疆大学,2021.
- [31] 张崇宇.基于知识图谱的自动问答系统的应用研究与实现[D].北京:北京邮电大学,2019.
- [32] 陈程,翟洁,秦锦玉,等.基于中医药知识图谱的智能问答技术研究[J].中国新通信,2018,20(2):204-207.
- [33] 任燕春,赵瑛,王铁,等.基于新冠肺炎知识图谱的智能问答系统研究[J].内蒙古科技大学学报,2021,40(3):287-292,298.
- [34] 温思琦.基于本体的中医冠心病自动问答系统的设计与实现[D].沈阳:沈阳工业大学,2017.
- [35] 孙立明,孙立宏.关于辨证论治与鉴别诊断相似性的探讨[J].中国现代药物应用,2008,2(16):125-126.

Construction and application of knowledge graph of traditional Chinese medicine

TAO Yu-tong, CHEN Yun-zheng, SHAO Lan-yi, LIU Xiao-feng, ZHAI Shuang-qing, WANG Wei-guang

(收稿日期: 2022-05-07)