

知识驱动的中医智能诊疗研究思路与方法

杨涛^{1,2},漆隽之²,胡孔法^{2,3,4},朱学芳¹

(1. 南京大学信息管理学院,江苏 南京 210023;2. 南京中医药大学人工智能与信息技术学院,江苏 南京 210023;
3. 江苏省中医药防治肿瘤协同创新中心,江苏 南京 210023;4. 江苏省中医外用药开发与应用工程研究中心,江苏 南京 210023)

摘要: 中医诊疗数字化和智能化是中医现代化发展的重要方向。充分发掘和利用中医先验知识,建立知识驱动的中医智能诊疗方法和模型,对中医现代化发展具有重要意义。在梳理和分析以知识工程为代表的中医智能诊疗问题的基础上,提出以多模态数据为基础,构建涵盖知识抽取、知识组织和辅助诊疗于一体,知识驱动的中医智能诊疗研究思路和方法,以期对中医诊疗数字化和智能化研究提供参考。

关键词: 知识驱动;知识图谱;中医诊疗;智能诊疗

中图分类号: R241

文献标志码: A

文章编号: 1673-7717(2024)10-0013-06

Research Ideas and Methods for Knowledge - Based Intelligent Diagnosis and Treatment of Traditional Chinese Medicine

YANG Tao^{1,2}, QI Junzhi², HU Kongfa^{2,3,4}, ZHU Xuefang¹

(1. School of Information Management, Nanjing University, Nanjing 210023, Jiangsu, China;

2. School of Artificial Intelligence and Information Technology, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, Jiangsu, China;

3. Jiangsu Collaborative Innovation Center of Traditional Chinese Medicine in Prevention and Treatment of Tumor, Nanjing 210023, Jiangsu, China;

4. Jiangsu Provincial Engineering Research Center of TCM External Medication Development and Application, Nanjing 210023, Jiangsu, China)

基金项目: 国家自然科学基金项目(82174276,82074580);国家重点研发计划项目(2022YFC3500201);中国博士后科学基金面上项目(2021M701674);

江苏省重点研发计划项目(BE2022712);江苏省博士后科研资助计划项目(2021K457C);江苏高校“青蓝工程”基金项目(2024)

作者简介: 杨涛(1987-),男,江苏南京人,副教授,博士,研究方向:中医药信息。

通讯作者: 胡孔法(1970-),男,安徽安庆人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向:中医药人工智能与大数据分析。E-mail: kfh@njucm.edu.cn。

朱学芳(1962-),男,江苏泰州人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向:情报学、人工智能、模式识别。E-mail: xzfzhu@nju.edu.cn。

- [11] 中华医学会呼吸病学分会,国家呼吸医学中心. 新型冠状病毒感染咳嗽的诊断与治疗专家共识[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2023,46(3):217-227.
- [12] 中国人体科技健康促进会儿童变态反应专业委员会,广东省钟南山医学基金会,首都儿科研究所儿科医联体,等. 儿童新型冠状病毒感染相关咳嗽诊治的专家共识[J]. 中华预防医学杂志, 2023,57(3):309-317.
- [13] 吴俣,刘珏,刘民,等. 新型冠状病毒 Omicron 变异株亚型 BA.4 与 BA.5 的流行病学特征及防控研究[J]. 中国全科医学, 2022,25(30):3721-3725.
- [14] GRANT M C, GEOGHEGAN L, ARBYN M, et al. The prevalence of symptoms in 24,410 adults infected by the novel coronavirus (SARS-CoV-2; COVID-19): A systematic review and meta-analysis of 148 studies from 9 countries [J]. PLoS One, 2020,15(6):234765.
- [15] CHOPRA V, FLANDERS S A, O'MALLEY M, et al. Sixty-day outcomes among patients hospitalized with COVID-19 [J]. Ann Intern Med, 2021,174(4):576-578.
- [16] National Institute for Health and Care Excellence (NICE) in collaboration with NHS England and NHS Improvement. Managing COVID-19 symptoms (including at the end of life) in the community: summary of NICE guidelines [J]. BMJ, 2020,369:1461.
- [17] 张洪春,王成祥,崔红生,等. 宣肺止嗽剂治疗咳嗽临床应用专家共识[J]. 中华中医药学刊,2022,40(8):252-258.
- [18] 肖舒心. 宣肺止嗽剂对慢性阻塞性肺疾病急性加重期患者肺功能及炎症介质水平的影响[J]. 实用中西医结合临床,2021,21(23):15-16,82.
- [19] 蒋婷,王黔宇. 宣肺止嗽剂联合无创机械通气治疗 COPD 合并急性加重期呼吸衰竭的疗效观察[J]. 内蒙古中医药,2021,40(9):28-29.
- [20] 陆昕,刘亚男. 宣肺止嗽剂辅助西药治疗支气管炎患儿的疗效及其对肺功能、免疫功能及血清白细胞介素-17、肺表面活性蛋白 D、干扰素- γ 的影响[J]. 世界中西医结合杂志,2022,17(3):580-583,588.
- [21] 王双乐,宋伟静. 宣肺止嗽剂联合吸入用乙酰半胱氨酸溶液和噻托溴铵粉剂治疗气道黏液高分泌慢性阻塞性肺疾病的临床疗效[J]. 中国处方药,2022,20(7):107-109.
- [22] 钟丽花,张薇,邢凯慧,等. 重组人干扰素 α 1b 联合宣肺止嗽剂治疗小儿支气管炎效果观察及对血清细胞因子的影响[J]. 中华中医药学刊,2019,37(3):691-694.
- [23] 钟云青. 宣肺止嗽剂辅助治疗咳嗽变异性哮喘的风邪犯肺证患者[J]. 中成药,2017,39(5):912-915.
- [24] 孙宁,李倩,石磊,等. 宣肺止嗽剂治疗风邪犯肺型感染后咳嗽的临床效果[J]. 中国医药导报,2022,19(29):126-129.
- [25] 孙丽丽,白海英,郑文惠,等. 基于网络药理学的宣肺止嗽剂止咳作用机制研究[J]. 西部中医药,2020,33(12):7-16.
- [26] 宋月红,陈瑛,张晨熙,等. 大鼠自然戒断和小鼠催戒断模型评价宣肺止嗽剂的躯体依赖作用[J]. 中国医药导报,2022,19(13):33-37.

Abstract: It is an important direction for the digital and intelligent development of traditional Chinese medicine diagnosis and treatment. Fully exploring and utilizing prior knowledge of traditional Chinese medicine, establishing knowledge-based intelligent diagnosis and treatment methods and models of traditional Chinese medicine, is of great significance for the modernization of traditional Chinese medicine. On the basis of sorting and analyzing the intelligent diagnosis and treatment problems of traditional Chinese medicine represented by knowledge engineering, this paper proposed to construct a knowledge driven research approach and method for intelligent diagnosis and treatment of traditional Chinese medicine based on multimodal data, which covered knowledge extraction, knowledge organization and auxiliary diagnosis and treatment. The aim was to provide references for the digitalization and intelligence research of diagnosis and treatment in traditional Chinese medicine.

Keywords: knowledge-driven; knowledge graph; TCM diagnosis and treatment; intelligent diagnosis and treatment

中医药学是中国古代科学的瑰宝,也是打开中华文明宝库的钥匙^[1]。在中医药传承发展过程中,以中医四大经典为基础,构建了以阴阳五行等中国哲学理论为内核,以辨证论治为核心,理法方药贯通的理论和知识体系。在不同的历史时期,先贤大医对其进行继承和发展,演绎出不同的学术思想,形成不同的学术流派,不断丰富和壮大中医学知识体系。中医学的发展要秉承“传承精华、守正创新”。新时代背景下,如何传承好、发展好、利用好中医学丰富的先验知识,这是新时代赋予中医人的新使命。

中医诊疗的实用性和有效性是中医生命力的保证。然而,传统的中医诊疗模式依赖专家知识和经验,具有主观性、模糊性等特点,加之高水平中医专家有限,优质中医服务供给严重不足,迫切需要利用多种途径提升中医服务能力^[2]。中医学的发展离不开新技术的支撑。随着人工智能技术的飞速发展,带来了诸多行业的变革,中医诊疗也朝着数字化、智能化方向发展。将专家的知识和经验进行数字化表达,利用智能技术学习和模拟中医专家的诊疗思维,实现中医智能诊疗,可以延伸中医专家的服务时空,提高中医服务供给,进而为中医传承创新发展提供有力支撑。

早在20世纪70年代,国内掀起了以中医专家系统为代表的中医智能诊疗研究的热潮,尝试利用产生式规则和推理树构建中医辨证模型^[3-4]。之后,以证素辨证^[5]为代表的加权数理逻辑运算开始应用到中医辨证研究中,此外,也有学者利用贝叶斯网络^[6]、决策树^[7]等方法构建中医辨证模型,取得了一些成果。将上述方法进行归类,大致可分为知识驱动方法和数据驱动方法两大类。前者以知识工程为核心,通过将中医知识进行整理和组织,形成中医知识库,配合知识推理和决策逻辑,实现中医智能诊疗;后者以机器学习和深度学习方法为核心,通过算法从大量中医诊疗数据中自动地学习决策规律,形成临床信息到诊疗结果的映射函数,进而模拟中医诊疗过程。知识驱动的方法具有很好的可解释性,诊疗过程更加符合中医思维过程,而数据驱动的方法,无需大量的知识整理过程,通过大样本临床数据,可以学习和逼近任意复杂的函数映射,尤其近年来深度学习飞速发展,以深度神经网络为代表的方法被应用到中医领域,但其属于“黑箱”模型,其可解释性相对不足^[8-9]。中医诊疗是关乎人的生命健康,其智能诊疗的可解释性至关重要,而知识驱动的中医智能诊疗模型在可解释性上具有先天优势,在中医智能诊疗发展过程中大有可为。鉴于此,本文探讨知识驱动的中医智能诊疗研究思路与方法,以期对中医诊疗智能化发展提供参考。

1 知识驱动的中医智能诊疗面临的问题

知识驱动的中医智能诊疗以中医先验知识为核心,属于人工智能领域的知识工程范畴,其发展可以归纳为三大阶段,分别为符号主义、语义网络、知识图谱^[10-12]。

早在20世纪70年代,以符号主义为代表的人工智能技术蓬勃发展,伴随着MYCIN专家系统在医学领域的成功,国内掀起了中医专家系统研究热潮^[3]。中医专家系统一般由知识库与推理引擎两大部分组成(见插页I图1),通过总结一个或者多个中医专家提供的知识和经验,利用逻辑符号语言将其表示为规则,形成中医专家知识库;利用前向推理反向推理等进行主动推理和判断,模拟中医专家诊疗思维,解决诊疗问题。代表性的有中医专家系统有关幼波诊疗肝病计算机程序、邹云翔中医肾病计算机诊疗系统、姚贞白妇科专家诊疗系统等^[4]。从专家系统的构建过程不难看出,知识和推理规则的准备需要中医专家的深度参与,有效的中医知识获取和表征、完备的中医知识和精准有效的推理规则是中医专家系统成功的关键。

为了更好地定义和表征中医知识,21世纪初,以语义网络为代表的中医知识工程研究发展迅速。语义网络^[13]是一种常用的知识表示方法,其通过有向图或无向图来表示知识,图中的节点表示对象或概念,边表示节点之间的关系(见插页I图2)。相关学者围绕针灸^[14]、中药^[15]等构建了众多的中医药语义网络,中国中医科学院研发了中医药语言系统^[16],国际标准化组织(ISO)发布中医药信息国际标准——《中医药学语言系统语义网络框架》^[17]。

2012年,伴随着知识图谱的提出,中医智能诊疗也进入到知识图谱研究行列。知识工程在知识图谱技术引领下进入了全新阶段,从传统通过专家自上而下地获取知识,而现在是利用数据自下而上,从数据里面去挖掘知识、抽取知识。中医领域围绕知识本体^[18-19]、知识抽取^[20-21]、知识图谱^[22-23]等开展了系列卓有成效的研究工作。以知识图谱为基础,构建新型的知识推理和辅助诊疗方法和平台,是未来中医智能诊疗发展的重要方向之一。

纵观知识驱动的中医智能发展历程,可以发现这一领域面临中医诊疗知识获取、中医诊疗知识有效组织、中医智能诊疗方法设计等诸多问题,具体如下。

(1)中医诊疗知识的获取问题。无论是传统以符号主义为代表的研究,还是以语义网络为核心的研究,采用的都是自上而下的知识工程方法,需要知识工程师和中医专家紧密合作。一方面,需要中医专家将中医领域知识充分地表达出来;另一方面,还需要有知识工程师把专家表达这个知识变成计算

机能够处理的形式。知识图谱的出现在一定程度上避免了传统知识工程对专家的过多依赖问题,然而,如何从数据中获取高质量的中医知识?如何充分利用多模态数据中的知识?仍然是中医知识图谱研究面临的重要课题。

(2)中医诊疗知识的组织问题。有效的中医诊疗知识的组织是中医智能诊疗的前提和基础。传统符号主义方法采用逻辑规则进行中医知识组织,当知识规则较多时,可能出现知识之间的互相冲突,甚至自相矛盾的问题。语义网络和知识图谱在知识组织上较为接近,都是采用图的方式进行知识组织,然而采用有向图还是无向图?加权图还是无权图?同构图还是异构图?这些问题还需进一步深入探索。

(3)中医智能诊疗方法设计问题。传统以符号主义为代表中医智能诊疗采用逻辑规则进行推理和决策,然而,当推理链较长,或者问题边界模糊时,可能出现循环推理、错误推理等问题^[24]。以图论为代表的中医语义网络和知识图谱方法,在智能方法设计上,是采用简单的网络搜索方法,还是利用当下流行的图神经网络方法?诊疗过程中应该更关注网络或图谱的结构信息、节点信息还是边的信息?应该关注局部结构还是整体结构?这些问题仍需要深入探索。

2 知识驱动的中医智能诊疗模型研究思路

在知识驱动的中医智能诊疗领域,传统的符号主义、语义网络为代表的知识工程方法逐渐被知识图谱所取代。知识图谱在知识获取、知识表征、知识推理和决策方面展现出强大的能力,有望推动中医诊疗智能化快速发展。因此,下文重点围绕以知识图谱为基础的中医智能诊疗模型研究思路进行探讨。

2.1 多源多模态中医诊疗知识抽取 中医诊疗知识的来源丰富,既有中医典籍中的经典理论和知识,也有蕴含在中医专家诊疗数据中的临床诊疗经验。此外,中医诊疗讲求“望闻问切、四诊合参”,望、闻、问、切采集的临床资料属于多模态数据。因此,如何有效抽取上述多源多模态中医诊疗知识是知识驱动的中医智能诊疗模型研究基础。当前,围绕多模态(图文影音)的知识抽取技术愈发成熟,已经在安防监控、大气科学、医疗健康等领域广泛应用。采用自顶向下和自底向上的知识图谱构建方法相结合,一方面通过人工梳理中医诊疗概念、定义和知识条目,构建知识图谱骨架;一方面借助相关领域的深度学习前沿技术,从多模态数据中抽取相应的知识,对知识图谱骨架进行补充;此外,借助多模态数据融合建模方法,可以进一步提取不同模态数据之间的关系,例如,舌象和症状描述之间的关系,全身形态特征与舌象之间的关系等。

2.2 知识图谱支持下的中医诊疗知识组织 以知识图谱为基础,构建支持多模态知识组织的中医诊疗多模态知识图谱。传统知识图谱主要集中研究文本和数据库的实体和关系,而多模态知识图谱则在传统知识图谱的基础上,构建了多种模态下的实体,以及多种模态实体间的多模态语义关系。在中医诊疗多模态知识图谱的研究中,可以将多模态数据作为实体或概念的特定属性值,例如:实体“绛舌”,其有不同的绛舌图片作为其实体的特定属性值;也可以直接将多模态数据作为知识图谱中的实体。在知识组织过程中,利用多模态融合建模技术,将不同模态的数据映射到统一的向量空间,通过计算不同模态实体之间的距离,度量它们之间的关系,形成有效的知识组织。此

外,还可以利用多模态知识图谱推理技术,充分考虑不同模态之间的关联,以及已有实体之间的潜在关联,对知识图谱中缺失的关系进行补全,形成相对完备的中医诊疗多模态知识图谱。

2.3 图网络支持下的中医诊疗智能方法设计 中医诊疗多模态知识图谱是经典的图结构数据,这些数据之间呈现复杂的关系以及时序交互特点。将中医诊疗任务转化为图的表征和分类任务,利用图神经网络可以有效学习和表征数据之间的复杂关系,并模拟中医诊疗的决策过程。在多模态知识图谱中提取多组图(例如症状-症状图、症状-证候图、证候-证候图等),利用图卷积网络(Graph Convolutional Network, GCN)^[25]、图注意力网络(Graph Attention Networks, GAT)等同构图学习方法^[26],以及关系图卷积网络(Relational Graph Convolutional Network, RGCN)^[27]、层次图卷积网络(Hierarchical Graph Convolution Networks, HGCN)^[28]等异构图学习方法,利用图神经网络学习和表征图谱中的节点、关系和结构信息,将学习到的症状、证候等嵌入表征(Embedding)进行对齐和融合,再由后续的分类器完成证候判定、处方推荐等任务。

3 知识驱动的中医智能诊疗模型构建方法

知识驱动的中医智能诊疗模型构建方法多样,本文提出一种较为通用的方法,包含了知识抽取、知识组织、辅助诊疗三大核心模块。知识抽取模块负责不同模态数据的向量表征和维度转换,将不同模态输入映射到低维向量空间;知识组织模块负责不同模态的知识对齐和融合,建立多模态知识图谱;辅助诊疗模块负责从知识图谱中学习节点的嵌入表征,并进行诊疗和方药推荐(见插页Ⅱ图3)。具体如下。

3.1 知识抽取 中医诊疗知识图谱构建建议采用自顶向下和自底向上相结合的方式,由于自顶向下的知识图谱构建方法主要依赖领域专家对知识本体和语义关系的定义,且相关研究较为成熟,此处不做过多赘述。利用数据自下而上,从数据里面去挖掘知识、抽取知识,是大数据时代知识工程的新特征。因此,本文重点介绍从多模态数据中抽取中医诊疗知识的方法。针对文本数据,采用针对文本、语音、图像、视频的深度学习表示学习方法,获得多媒体数据的向量表征,将其送入前向网络(Feed Forward Network, FFN)进行维度转换,将多模态数据转化为一个个实体节点。

3.2 知识组织 以知识抽取后的多模态实体节点构建一个全连接网络,此时的实体并未对齐,通过多模态注意力网络进行节点的维度转换,其根据当前实体节点的周围节点的注意力计算得到新的表征(embedding),从而将不同节点映射到共有特征空间。利用多模态注意力网络通计算不同实体节点之间的注意力权重,并根据权重大小对全连接网络进行后剪枝,删除知识图谱中冗余的边,形成精简之后的知识图谱。

3.3 辅助诊疗 从多模态知识图谱中抽取疾病、症状、证候、中药等实体,以及实体之间关系,构建同类实体之间的同构图(例如“疾病-疾病”图、“症状-症状”图、“证候-证候”图、“中药-中药”图),以及不同实体之间的异构图(例如“疾病-症状”图、“疾病-证候”图、“疾病-中药”图、“症状-证候”图等),使用图卷积网络或图注意力网络学习同构图中的节点表征;利用HGCN、RGCN等方法学习异构图中的节点表征;设

计节点表征融合策略和方法,将不同来源的节点表征进行融合,使得节点不仅包含同类型节点的信息,同时也包含不同类型节点的信息,从而具有更强地表征能力。将患者的一组症状表征送入多层感知机(Multi-Layer Perceptron, MLP),得到临床表征(E_c),同理可以得到诊断(证候)的表征(E_z)或治疗(中药组合)的表征(E_h)。设定合理的损失函数,通过一定量的数据,可以训练出相应的辅助诊疗模型。以证候诊断为例,损失函数可以定义如下:

$$\text{Loss} = \operatorname{argmin}_{\theta} \sum \text{WMSE}[y, g(c, S)] + \lambda_{\theta} \theta_2^2 \quad (1)$$

$$g(c, S) = E(c) \cdot E_s^T \quad (2)$$

假设某患者的临床症状为 c ,对应证候诊断为 y ,那么损失函数需要使得预测结果 $g(c, S)$ 与真实结果 y 之间的加权均方误差(Weighted Mean-Square Error, WMSE)尽可能地小。公式(1)中的 c 为临床信息, S 为证候集合,为 L_2 正则化项,用于防止模型过拟合。在公式(2)中, $E(c)$ 为临床症状的表征, E_s 为诊断结果的表征,二者进行矩阵运算,得到不同证候的诊断概率。利用一定量的数据训练和测试模型,有望得到精准的诊疗模型。

4 总结

中医学是我国传统文化的瑰宝,蕴含着丰富的知识和经验。充分利用这些知识,开展中医智能诊疗研究,是中医诊疗数字化和智能化发展的重要研究方向之一。以符号主义、语义网络、知识图谱为代表的知识工程技术发展迅猛,相关方法可以充分利用中医领域先验知识,且决策过程具有良好的可解释性等优势,为中医智能诊疗研究提供了技术和方法支撑。基于此,本文在梳理中医智能诊疗研究现状的基础上,提出以多模态数据为基础,以知识抽取、知识组织和辅助诊疗为核心,以先验知识为驱动的中医智能诊疗研究基本思路和方法。在具体技术和方法上,这一研究方向仍然面临诸多挑战,需要进一步探索解决高效精准的多模态知识抽取、融合、组织等问题,进而为中医智能诊疗研究与发展提供助力。

参考文献

[1] 新华社. 中共中央国务院关于促进中医药传承创新发展的意见[EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/2019-10/26/content_5445336.htm.

[2] 杨涛,朱学芳. 中医辨证智能化研究现状及发展趋势[J]. 南京中医药大学学报,2021,37(4):597-601.

[3] 文志华,夏帅帅,刘东波,等. 中医智能辨证诊断技术的演进与问题探讨[J]. 世界科学技术-中医药现代化,2021,23(11):4298-4304.

[4] 韦昌法,晏峻峰. 从知识表示与推理方法探讨中医数字辨证发展[J]. 中华中医药杂志,2019,34(10):4471-4473.

[5] 朱文锋. 证素辨证学[M]. 北京:人民卫生出版社,2008.

[6] 徐璿,许朝霞,许文杰,等. 基于贝叶斯网络原理的835例冠心病病例中医证候分类研究[J]. 上海中医药杂志,2014,48(1):10-13.

[7] 刘广,孙艳秋,裴媛. 基于C4.5决策树算法的中医胃炎实验数据分类挖掘研究[J]. 中华中医药学刊,2016,34(12):2958-2961.

[8] 王冬丽,杨珊,欧阳万里,等. 人工智能可解释性:发展与应用[J]. 计算机科学,2023,50(S1):19-25.

[9] 陈冲,陈杰,张慧,等. 深度学习可解释性综述[J]. 计算机科学,

2023,50(5):52-63.

[10] 蔡恒进. 行为主义、联结主义和符号主义的贯通[J]. 上海师范大学学报(哲学社会科学版),2020,49(4):87-96.

[11] 肖峰. 人工智能与认识论的哲学互释:从认知分型到演进逻辑[J]. 中国社会科学,2020(6):49-71,205-206.

[12] 漆桂林,高恒,吴天星. 知识图谱研究进展[J]. 情报工程,2017,3(1):4-25.

[13] 李洁,丁颖. 语义网、语义网格和语义网络[J]. 计算机与现代化,2007(7):38-41.

[14] 姚媛媛,崔蒙,贾李蓉. 腧穴与针刺方法语义网络的构建研究[J]. 中国数字医学,2014,9(3):82-84.

[15] 朱彦,朱玲,高博,等. 中药功效语义网络的构建及应用[J]. 中华中医药杂志,2016,31(5):1710-1715.

[16] 贾李蓉,于彤,崔蒙,等. 中医药学语言系统研究进展[J]. 中国数字医学,2014,9(10):57-59,62.

[17] 于彤,崔蒙,李海燕,等. 中医药学语言系统的语义网络框架:一个面向中医药领域的规范化顶层本体[J]. 中国数字医学,2014,9(1):44-47.

[18] ZHU Y, YAO K Y, PENG S Y, et al. Traditional chinese medicine (TCM) domain ontology: current status and rethinking for the future development[J]. Chinese Medical Sciences Journal, 2022, 37(3): 228-234.

[19] ZHOU X Z, WU Z H, YIN A N, et al. Ontology development for unified traditional Chinese medical language system[J]. Artificial Intelligence in Medicine, 2004, 32(1): 15-27.

[20] JIA Q, ZHANG D, XU H, et al. Extraction of traditional chinese medicine entity: design of a novel span-level named entity recognition method with distant supervision[J]. JMIR Medical Informatics, 2021, 9(6): 28219.

[21] MA Y K, LIU Y, ZHANG D Z, et al. A Multigranularity text driven named entity recognition cgan model for traditional chinese medicine literatures[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, 2022: 1495841.

[22] 邓宇,周卫强,张振铭,等. 基于名老中医医案的知识图谱构建[J]. 湖南中医杂志,2019,35(7):186-187.

[23] YU T, LI J H, YU Q, et al. Knowledge graph for TCM health preservation: Design, construction, and applications[J]. Artificial Intelligence in Medicine, 2017, 77: 48-52.

[24] 白春清. 中医专家系统三十年[J]. 医学信息, 2011, 24(2): 550-552.

[25] KIPF T N, WELING M. Semi-supervised classification with graph convolutional networks[M]. Toulon: International Conference on Learning Representations, 2017.

[26] LIU Z Y, ZHOU J. Graph Attention Networks[M]//Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning, Introduction to Graph Neural Networks. SpringerLink, 2020: 39-41.

[27] MICHEAL S, THOMAS N K, PETER B, et al. Modeling relational data with graph convolutional networks[M]. New York: European Semantic Web Conference, 2018.

[28] ZHU Z H, FAN X X, CHU X K, et al. HGCN: A Heterogeneous Graph Convolutional Network-Based Deep Learning Model Toward Collective Classification[C]//Proceedings of the 26th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining. New York: 2020.