

本体在糖尿病领域知识表示与语义推理研究和应用综述

王小贤 夏晨曦 张芳芳 卢乃吉 马敬东

(华中科技大学同济医学院医药卫生管理学院 武汉 430030)

〔摘要〕 检索 PubMed、IEEE/IET Electronic Library、ACM、万方、知网、维普等中英文数据库以及搜索引擎 Google Scholar、百度学术中有关本体在糖尿病领域研究和应用的文献,了解相关现状,总结主要研究内容,结果表明近 10 年来本体在糖尿病领域的研究成果增长较迅速,在语义理解方面有着比较明显的优势。

〔关键词〕 糖尿病;本体;知识表示;语义推理

〔中图分类号〕 R-056 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2017.07.014

Overview of Research and Application of Knowledge Expression and Semantic Reasoning of Ontology in the Diabetes Field

WANG Xiao-xian, XIA Chen-xi, ZHANG Fang-fang, LU Nai-ji, MA Jing-dong, Tongji Medical College of Huazhong University of Science and Technology, School of Medicine and Health Management, Wuhan 430030, China

〔Abstract〕 Through the retrieval of literatures about the research and application of ontology in the diabetes field in PubMed, IEEE/IET Electronic Library, ACM, WANFANG, CNKI, VIP and other Chinese and English databases, as well as the search engines Google Scholar and Baidu Scholar, the paper shows the current situations and summarizes the main study contents. The result shows that the study achievements of ontology in the field of diabetes increase rapidly and there are obvious advantages in semantic comprehension in recent decade.

〔Keywords〕 Diabetes; Ontology; Knowledge expression; Semantic reasoning

1 引言

改革开放后,随着我国经济的快速发展,经济水平的提升和饮食多样化、多油盐化催生了糖尿病患者的逐年递增。据报道 20 世纪 80 年代我国糖尿病患病率仅 1.0%,2001 年增至 5.5%,2008 年达 9.7%,2010 年已高达 11.6%^[1]。庞大的患病群体

对卫生资源和群众经济负担造成了巨大压力,2007 年的一项横截面调查显示,每年糖尿病的直接医疗和非直接医疗费用为平均每人 1 320.90 美元和 180.80 美元,2 型糖尿病及其并发症的年平均间接成本约为 206.10 美元^[2],糖尿病已经成为亟待解决的公众健康问题^[3]。本体是一种面向应用和领域知识的整合工具,是某一领域中的概念以及概念间关系的集合,关系反映概念间的约束和联系。基于本体的知识表示方法能够保证在共享过程中对于知识理解的一致性和唯一性,并且能够全面表达知识间复杂的关系。通过本体可以解决大量知识之间交互、共享混乱现象,最大限度地实现知识的共享与

〔修回日期〕 2017-03-31

〔作者简介〕 王小贤,硕士研究生;通讯作者:马敬东,副教授,硕士生导师。

重用，并且利用本体形式化的知识表示方法可以方便地获取知识语义信息^[4]。近年来，采用本体技术解决糖尿病知识共享和智能推理的研究和应用增长迅速，在语义理解方面有着明显的优势。因此，本文检索本体在糖尿病领域研究和应用的文献并进行分析，以期了解当前本体在糖尿病领域的研究和应用现状，为糖尿病预防和控制以及未来研究方向提供参考。

2 研究方法

2.1 检索策略

检索 PubMed、IEEE/IET Electronic Library、ACM、Springer Link、Web of Science、万方、知网 CNKI、维普等中英文数据，以及搜索引擎 Google Scholar、百度学术中有关本体在糖尿病领域研究和应用的文献，中文关键词检索策略为：（“本体” or “语义技术”） and “糖尿病”，英文检索策略为：（ [title/abstract] （ "semantic technology" or "ontolog" * ） ontolog * and （ "diabetes" or "diabetes mellitus" ） ）。

2.2 文献入选标准

研究对象为本体在糖尿病领域的知识表示、语义决策推理、信息集成等研究成果并对相关参考文献进行扩展检索。检索流程，见图 1。

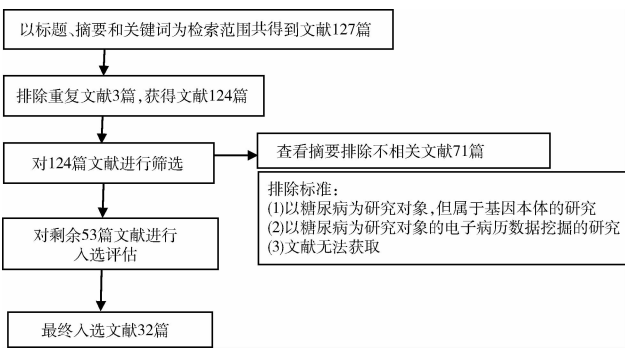


图 1 检索流程

3 结果与分析

3.1 检索结果（表 1）

表 1 主要研究内容和文献分布

研究内容	文献量(篇)
基于糖尿病本体的临床决策支持研究	12
基于本体的食品知识库和糖尿病饮食推荐研究	5
基于本体的糖尿病用药提醒或用药推荐系统研究	4
基于本体的糖尿病个性化管理系统研究	5
其他研究	6

3.2 结果分析

3.2.1 基于糖尿病本体的临床决策支持研究 随着人工智能的发展，临床决策支持越来越向信息化、智能化延伸，为医生提供诊断帮助和预测，提供报警和提醒等功能，以减少失误。基于糖尿病本体的临床决策支持研究，见表 2，主要包括 3 方面：（1）从现有的词表、术语表或指南中提取术语和关系，构建相关本体，提供诊断推理帮助。（2）基于本体的案例推理，即以临床案例为数据库，通过案例映射或匹配，提供预测支持。（3）对传统算法进行改进，使用模糊算法，提高推理和预测的准确性。

3.2.2 基于本体的食品知识库和糖尿病饮食推荐研究 医学营养治疗在预防、减缓糖尿病并发症发展和提高糖尿病患者生存状况等方面具有重要作用。现在最普遍的做法是利用食物交换份法来进行糖尿病患者的饮食指导，即在总热量范围内，等量热卡的食物可以互相置换。但是，这种方法可能无法提供最好的结果，因为其没有准确地考虑所有的食品特点以及糖尿病饮食保健需求和不同类型的食物之间的关系，因此构建糖尿病饮食本体和饮食推荐成为研究主题之一。研究内容主要包括食品知识库构建和基于食品营养知识库的糖尿病饮食推荐系统研究，利用手工方法或半自动化方法构建食物本体，结合营养目标，自动推荐营养成分或食物品种，见表 3。

表 2 基于糖尿病本体的临床决策支持研究文献汇总

研究内容	本体来源	本体构建方式	应用内容和效果	国家/地区
从 SNOMED CT 中提取糖尿病的术语和关系，设计一个基于本体的糖尿病案例诊断推理模型 ^[5]	SNOMED - CT	半自动	试验结果：与糖尿病案例进行概念匹配，匹配率达到 75%	埃及
基于模糊本体的专家系统应用于糖尿病临床决策支持；基于糖尿病本体的智能模糊代理；模糊推理代理用于糖尿病分类诊断 ^[6-8]	-	全手工	试验结果：不同年龄段的准确率、精确度、召回率结果皆比较可观	中国台湾
对糖尿病领域知识进行结构化知识表示，将三角隶属函数和 Mamdani 算法应用于专家系统并与传统的专家系统进行比较，结果显示模糊系统具有更高的准确性 ^[9]	-	全手工	试验结果：改良算法后，准确率优于 Lee C 等的研究	印度
通过领域知识识别与范围界定、重要概念分级、实例实例化 3 个步骤构建糖尿病本体和应用功能 ^[10]	-	全手工	实现 4 个功能：危险评估、诊断应用、治疗护理和依从跟踪	泰国
设计基于本体的临床诊断和提醒框架设计：将患者登记资料、临床诊疗指南与本体集成在一起，再与患者信息进行映射，最后嵌入提醒系统 ^[11]	-	半自动	-	泰国
构建糖尿病本体，将个人信息与案例数据库匹配，通过推理模型提出护理方案并持续更新数据库案例 ^[12]	-	全手工	试验结构：输入患者信息，系统可以推荐个性化饮食、运动、药物方案	中国台湾
将案例存储在数据库中作为案例库，系统分析患者症状给出的糖尿病具体类型、分期和诊治计划，如果没有找到类似的案例，则根据本体自动生成基本治疗方案并更新案例库 ^[13]	-	全手工	试验结果：系统有效地支持诊断并推出治疗计划	印度
使用本体表示案例并将案例储存于案例库中，每当出现新案例，便从库中检索相似案例；使用模糊逻辑进行案例推理，基于症状的相关计算，帮助诊断 ^[14]	-	全手工	试验结果：系统能够有效地支持糖尿病诊断	印度
提出本体工程方法来生成医学领域的案例库，主要侧重于研究的本体来表示案例，支持语义检索，提高所有知识密集型 CBR（基于案例推理）的过程，研究糖尿病案例的诊断 ^[15]	-	半自动	采用评价方法衡量本体，未有试验结果	沙特阿拉伯
在现有的本体工具和技术之上构建本体推理组件，用以支持卫生信息的集成，嵌入 COMMODITY（一个糖尿病患者和治疗医师的私人健康环境）中，于基础代理中做推理，以支持智能代理操作 ^[16]	SNOMED - CT	全手工	不同数据源的患者数据能集成到 COMMODITY，能支持糖尿病诊断、建议和管理	英国

表 3 基于本体的食品知识库和糖尿病饮食推荐研究文献汇总

研究内容	本体来源	本体构建方式	应用内容和效果	国家/地区
应用 7 步法构建食物本体，包含 177 类、53 个属性和 632 个实例，该本体主要是食物分类和营养成分的知识库构建 ^[17]	-	纯手工	-	英国

续表 3

使用层次聚类算法生成本体框架。由交叉命名进行类命名，通过细粒度对实例进行定位和排名，为营养师提供推荐支持 ^[18]	-	半自动	试验结果：能够自动提供食物组合和食物替代推荐	中国台湾
首先，领域专家制定饮食目标，对常见中国台湾食物包含的营养进行描述；然后，输入食物；接着，本体生成器创建一个模糊本体 ^[19]	-	半自动	试验结果：基于模糊集的代理器可以提醒患者用餐计划	中国台湾
使用 OWL 和 SWRL 技术，设计和实现自动化系统，可以基于本体的领域知识自动为患者生成所需的食物成分 ^[20]	-	全手工	试验结果：推理准确率达到 73%	印度尼西亚
提出一个基于知识框架的食物本体和提醒系统，整个系统分为用户个人信息、食物和营养数据库及知识库 ^[21]	-	全手工	试验结果：通过输入患者信息，系统可以推理出日常营养需求和饮食计划	泰国

3.2.3 基于本体的糖尿病用药提醒或推荐系统研究

用药安全是卫生领域的一个重要问题，计算机系统在防止不良事件的应用上缺乏该领域的标准化知识，所以构建用药知识库和计算机用药提醒以及用药推荐系统成为研究主题之一。研究方法主要是构建患者信息与药物信息的本体库，然后通过用药规范的规则进行药物推荐或者用药提醒，见表 4。

表 4 基于本体的糖尿病用药提醒或推荐系统研究文献汇总

研究内容	本体来源	本体构建方式	应用内容和效果	国家/地区
构建一个糖尿病疾病药物不良事件的本体，包括糖尿病用药的术语和关系，以促进计算机进行信息提取的能力，使得应用系统能够检测和预防糖尿病的用药不良事件 ^[22]	-	半自动	试验结果：73% 的数据能被正确检测	突尼斯
首先建立糖尿病知识的本体，倍数计算药物的标准、决策方法，嫡用来计算患者的历史数据，然后将结果整合到医学知识本体中，列出适当的药物以建议医生更合适的药物 ^[23]	-	全手工	试验结果：系统能根据症状推理优选药物	中国台湾
首先构建药物的自然属性、类型、分配方法和副作用，以及患者症状的本体，然后利用语义 Web 的规则语言和 JESS 推导潜在的患者处方 ^[24]	-	全手工	试验结果：联合 SWRL 与 JESS，系统能够推荐优选药物	中国台湾
基于模糊规则和抗糖尿病药物本体推荐医学信息，提出一种抗糖尿病药物推荐系统 ^[25]	-	全手工	试验表明：利用模糊逻辑能提高推荐抗糖尿病药物的准确性	中国台湾

3.2.4 基于本体的糖尿病个性化管理系统研究

糖尿病是一种需要长期治疗的慢性病，具有病因复杂、病程较长、并发症多、治疗难度大等特点，个体生活方式对疾病有较大影响，因此糖尿病个体化管理成为研究主题之一。研究内容主要是将本体与患者实际情况进行映射，推理出适合患者的治疗方案，见表 5。

表 5 基于本体的糖尿病个性化管理系统研究文献汇总

研究内容	本体来源	本体构建方式	应用内容和效果	国家/地区
建立合适的本体类和属性并探讨如何将其映射到现有标准 HL7 RIM 和 OpenEHR 等,旨在开发一个移动应用程序,能对糖尿病患者血糖记录读数、碳水化合物消耗、胰岛素用量和其他活动进行观察检测 ^[26]	HL7 – RIM, Open EHR	半自动	–	英国
糖尿病本体描述了概念和概念之间的关系,数据来源于医疗领域特定的糖尿病知识语料库并与医疗保健系统连接 ^[4]	–	全手工	本体论框架有 3 层结构,分别是 2 型糖尿病知识、2 型糖尿病知识服务提供者和患者	马来西亚
开发糖尿病知识本体 (dko) 表达 Web 本体语言来描述患者资料、并发症、症状和疾病。使用本体映射和推理规则,根据每个患者的情况进行语义推断 ^[27]	–	全手工	试验结果:该方法能够根据病情推荐个性化治疗的方案	泰国
提供一个辅助通信技术 PPIE 框架,使用一个 II 型糖尿病管理医患沟通辅助通信本体,帮助土著患者和非土著医生联合优化诊前、诊中和回访的沟通并进行个性化诊疗 ^[28]	–	全手工	试验结果:原著民可以通过该框架参与医疗过程	美国
以糖尿病为例,构建一个个性化慢病管理模型,促进各级医生之间的协作 ^[29]	–	全手工	试验结果:该框架能够促进助理医师 – 医师 – 专家之间的协作,使患者的诊疗更加连续	新西兰

3.2.5 其他研究 澳大利亚新南威尔士大学学者以糖尿病管理为例,构建了一个糖尿病知识本体,研究通过本体驱动多智能体来提高普通群众和卫生人员的互动协作^[30]。印度相关学者以糖尿病数据为研究案例,对目前的本体可视化工具进行了比较研究^[31]。美国国立医学图书馆与斯坦福大学建设了 BioPortal 生物门户网站,该网站是一个开放的医学本体网站,提供通过 Web 浏览器和 Web 服务的开放本体知识库,提供浏览、搜索和可视化本体以及评论,创建本体映射等功能^[32]。华东理工大学樊春雷在糖尿病本体建立完成的基础上,设计了一个用户友好的糖尿病健康教育系统,用户通过输入关键词,能够得到来自糖尿病分型、药物治疗、护理与饮食的知识普及^[33]。电子科技大学的唐玉梅等以糖尿病为对象,研究从关系模型到本体的转换,开发基于本体的语义查询系统,应用表明该本体能够完整展示糖尿病领域的知识,概念之间关系丰富,语义查询结果也比基于关键词的查询方式更准确^[34]。哈尔滨工业大学邱旭构建了糖尿病健康知识领域本体并对相似度计算进行改进,从而使算法获得较为

满意的结果^[35]。

4 结语

研究发现:(1)从文献主题分布来看,大多集中在临床决策支持或者专家系统上,表明随着人工智能与专家系统的发展,计算机科学、人工智能与特定专业领域(医学、农学等)的研究者们更多地结合起来,针对特定专业领域进行更好的知识整合和语义推理,实现更好的知识共享和推理应用。(2)从研究方法来看,大多是基于本体知识库的推理试验或系统应用,本体知识库的构建有全手工和半自动化两种方法,其中,实现实际系统应用的本体知识库都是采用手工方法,半自动化方法还停留在试验阶段。

综观已有研究可以发现一些不足:(1)没有本体重用和集成。相同的知识领域背景下,每个研究者都是重新构建本体,未考虑本体重用,造成了工作量的剧增,原因可能在于研究者未将研究成果共享,或者因为语言或者表达形式的问题难以再次利用。(2)中文本体库相对缺乏。综述发现中文的研

究成果皆来自于学位论文, 且没有能够达到实际应用目的的专家系统, 而我国糖尿病患者数量庞大, 卫生供给难以满足群众需求, 因此构建相对成熟和完善的中文糖尿病本体知识库, 增强糖尿病知识的共享, 将是进一步的研究方向之一。

参考文献

- 1 张波, 杨文英. 糖尿病防治在中国 [J]. 中华糖尿病杂志, 2015, 7 (1): 3-5.
- 2 Wang W, McGreevey W P, Fu C, et al. Type 2 Diabetes Mellitus in China: a preventable economic burden [J]. The American Journal of Managed Care, 2009, 15 (9): 593-601.
- 3 王铁燕. 糖尿病生活方式干预 [J]. 延边医学, 2015, (12): 192.
- 4 Ahmed A S. Towards an Online Diabetes Type II Self Management System: Ontology Framework [C]. Cairo: 2011 Third International Conference on Coputational Intelligence, Communication Systems and Networks, 2011.
- 5 El - Sappagh S, El - Masri S, Elmogy M, et al. A Diabetes Diagnostic Domain Ontology for CBR System from the Conceptual Model of SNOMED CT [C]. 2014 International Conference on Engineering and Technology (ICET), 2014.
- 6 Lee CS, Wang MH. A Fuzzy Expert System for Diabetes Decision Support Application [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2011, 41 (1): 139-153.
- 7 Lee CS, Wang MH, Acampora G, et al. Ontology - based intelligent fuzzy agent for diabetes application [C]. Nashville: IEEE Sysposium on Intelligent Agent, 2009.
- 8 Wang MH, Lee CS, Li HC, et al. Ontology - based Fuzzy Inference Agent for Diabetes Classification [C]. San Diego, Calif: Fuzzy Information Processing Society, Annual Megllitus Clinical Support System, 2007.
- 9 Kalpana M, Kumar A S. Fuzzy Expert System for Diabetes Using Fuzzy Verdict Mechanism [J]. International Journal of Advanced Networking and Applications, 2011, 3 (2): 1128.
- 10 Chalortham N, Buranarach M, Supnithi T. Ontology Development for Type II Diabetes Mellitus Clinical Support System [C]. Hanoi, Vietnam: Conference Ontology Development for Type IIDiabetes Mellitus Clinical Support System, 2009.
- 11 Buranarach M, Chalortham N, Chatvorawit P, et al. An Ontology - Based Framework for Development of Clinical Reminder System to Support Chronic Disease Healthcare [C]. Shanghai: Intemational Sysmposium on Biomedical Engineering, 2009.
- 12 Chen J, Su S, Chang C. Diabetes Care Decision Support System [C]. Dalian: Industrial and Information Systems (IIS), 2010.
- 13 Jha M K, Pakhira D, Chakraborty B. Diabetes Detection and Care Applying CBR Techniques [J]. Int J Soft Comput Eng (IJSCE), 2013, 2 (6): 132-137.
- 14 Jaya A, Uma G V. Role of Ontology in Case - based Reasoning (CBR) for Diagnosing Diabetes [J]. IUP Journal of Information Technology, 2009, 5 (3): 17-23.
- 15 El - Sappagh S, El - Masri S, Elmogy M, et al. An ontological case base engineering methodology for diabetes management [J]. J Med Syst, 2014, 38 (8): 1-14.
- 16 Kafal1 Ö, Sindlar M, van der Weide T, et al. ORC: an ontology reasoning component for diabetes [C]. Beijing: Interatoinal Workshop on Aritifical Intelligence and Netmedicine, 2013.
- 17 Cantais J, Dominguez D, Gigante V, et al. An Example of Food Ontology for Diabetes Control [C]. Calway Ireland: Proceedings of the International Semantic Web Conference 2005, 2005.
- 18 Li H, Ko W. Automated Food Ontology Construction Mechanism for Diabetes Diet Care [C]. Hongkong: Machhine Learning Cybernetics, 2007.
- 19 Lee C, Wang M, Hagraas H. A type - 2 fuzzy ontology and its application to personal diabetic - diet recommendation [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2010, 18 (2): 374-395.
- 20 Arwan A, Priyambadha B, Sarno R, et al. Ontology and Semantic Matching for Diabetic Food Recommendations [C]. Yogya Karta, Indonesia: Informaton Techology and Eleetrical Engineering (ICITEE), 2013.
- 21 Suksom N, Buranarach M, Thein Y M, et al. A Knowledge - Based Framework for Development of Personalized Food Recommender System [C]. Chiang Mai: Proc of The 5th Int Conf on Knowledge, Information and Creativity Support Systems, 2010.
- 22 Nakhla Z, Noura K. Development of Ontology for the Representation of Adverse Drug Events of Diabetes Disease [J]. Development, 2012, 42 (20): 10-16.
- 23 Chen R, Huang Y, Bau C, et al. A Recommendation System Based on Domain Ontology and SWRL for Anti - diabetic Drugs Selection [J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39 (4): 3995-4006.

(下转第 67 页)

(3) IR 参数高于 0.700 的四味药组为黄芪 - 赤芍 - 川芎 - 当归, 红花 - 桃仁 - 黄芪 - 当归, 桃仁 - 赤芍 - 川芎 - 当归, 红花 - 桃仁 - 赤芍 - 当归。由于不平衡比较高, 不作为药对出现。其余参数处于中等情况的关联规则仍需具体分析, 不能一概而论, 需要继续结合中医理论进行分析研究。

6 结语

根据中医分析可以得到, 本次挖掘结果中的药对、三味药组、四味药组功效都是活血化瘀、益气补血, 主要针对中风病中的血瘀气滞证候, 说明引入的 Kulc 参数和 IR 参数可以有效衡量数据项之间的相关度, 提高挖掘的准确度, 使挖掘到的规律全部是有意义的。本研究对中风病中医临床数据的开放共享、资源整合和隐含规律的知识发现具有指导意义, 对当前大数据环境下中医药大健康信息化发展具有积极的推动作用; 本研究成果在一定程度上能促进中医药的现代化研究, 对中医药临床与科研具有较高的借鉴价值; 预期的研究成果在“互联网+”时代具有较强的可推广性和实用性。

(上接第 61 页)

- 24 Chen R, Bau C, Huang Y. Development of Anti-diabetic drugs Ontology for Guideline-based Clinical Drugs Recommend System Using OWL and SWRL [C]. Barcelona: International Conference on Fuzzy, 2010.
- 25 Chen S, Huang Y, Chen R, et al. Using Fuzzy Reasoning Techniques and the Domain Ontology for Anti-diabetic Drugs Recommendation [M]. Berlin: Springer, 2012: 125-135.
- 26 Sutton D, Aldea A, Martin C. An Ontology of Diabetes Self Management [C]. Glasgow: International Workshop on Managing Interoperability&Complexity in Health Systems, 2011: 83-86.
- 27 Hempo B, Arch-Int N, Arch-Int S, et al. Personalized Care Recommendation Approach for Diabetes Patients Using Ontology and Swrl [M]. Berlins: Springer, 2015: 959-966.
- 28 Forbes D, Wongthongtham P, Singh J. Development of Patient-practitioner Assistive Communications (PPAC) Ontology for Type 2 Diabetes Management [C]. Sydney: CIHealth, 2012.
- 29 Verma A, Fiasché M, Cuzzola M, et al. Ontology Based Per-

参考文献

- 1 马丽伟. 关联规则算法研究及其在中医药数据挖掘中的应用 [D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
- 2 姜晗. 关联规则的精简方法研究 [D]. 杭州: 浙江师范大学, 2007.
- 3 韩家炜, Micheline Kamber, 裴健. 数据挖掘概念与技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- 4 Ethem Alpaydin, 范明, 咎红英, 等. 机器学习导论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- 5 刘喜明, 苏风哲, 路洁. 名老中医经验传承的现状和未来发展走向 [J]. 世界中西医结合杂志, 2009, 4 (3): 153-155.
- 6 赵国平, 戴慎, 陈仁寿. 中药大辞典 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.
- 7 刘思鸿. 中西医结合治疗脑梗死的用药规律研究 [D]. 北京: 中国中医科学院, 2015.
- 8 孙秀丽, 姜学永, 李明. 关联规则研究及在中风诊治中的应用分析 [J]. 计算机技术与发展, 2011, (9): 145-147, 152.
- 9 程丹丹. 关联分析在中医数据挖掘中的应用研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- sonalized Modeling for Type 2 Diabetes Risk Analysis: An integrated approach [M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- 30 Ganendran G, Tran Q, Ganguly P, et al. An Ontology-driven Multi-agent Approach for Healthcare [C]. Proceedings of Improving Quality by Lowering Barriers, 2002: 464.
- 31 Swaminathan V, Sivakumar R. A Comparative Study of Recent Ontology Visualization Tools with a Case of Diabetes Data [J]. International Journal of Research in Computer Science, 2012, 2 (3): 31-36.
- 32 Welcome to the NCBO BioPortal | NCBO BioPortal [EB/OL]. [2016-12-01]. <http://bioportal.bioontology.org/>.
- 33 樊春雷. 基于语义分析的糖尿病健康教育系统研究与实现 [D]. 上海: 华东理工大学, 2010.
- 34 唐玉梅, 曾庆文, 李科, 等. 基于关系模型的医学信息领域本体构建 [J]. 医学信息学杂志, 2013, 34 (9): 61-64.
- 35 邱旭. 领域本体在糖尿病领域知识服务中的应用 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.