















































擎的内置原语,这里用斜粗体表示内置原语,用于提供一些通用的计算功能;

- 三元组模式中包含变量(*?person,?value* 等)、本体描述语言语义组件、*SKB<sub>healthcare</sub>* 中定义的语义组件.

Jena 通用规则引擎可用于实现 RDFS,OWL 推理以及通用目的的推理,提供了正向链接推理、反向链接推理和混合执行模式.本体推理、规则推理和应用的执行逻辑如图 12 所示.本体推理基于领域本体库中的语义组件(即资源)进行推理,例如基于类和属性的分类关系、类和属性的约束(例如复杂类构造中的实例值约束、存在限定、完全限定;属性的取值约束、基数约束、定义域和值域约束)<sup>[3,6,10]</sup>、属性的特征(传递性、对称性、非对称性、自反性、非自反性、函数属性、逆函数属性)<sup>[3,6,10]</sup>等;规则推理基于语义知识库和规则体中的条件模式进行推理,如果满足规则体的条件,那么得出规则头的陈述结论,作为蕴含的知识和领域本体库、领域实例库中的显式知识一起作为可查询的领域语义知识库.

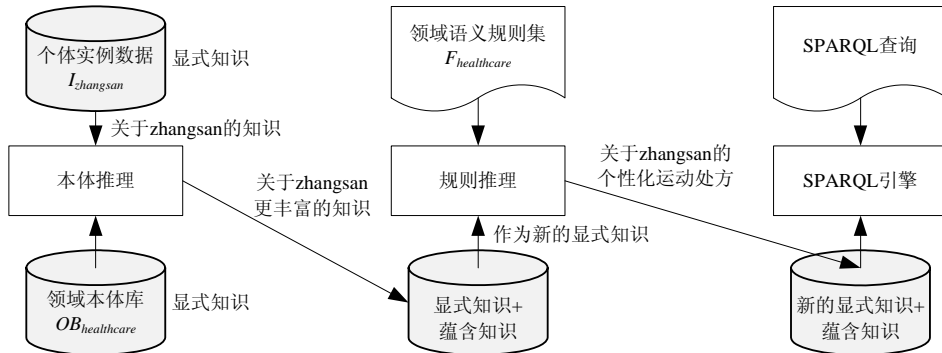


Fig.12 Ontology inference, rule inference and query logic

图 12 本体推理、规则推理和查询逻辑

基于领域本体库和领域实例库中定义的显式知识和基于本体推理与规则推理得到的蕴含知识,执行 SPARQL 查询得到的张三的个性化运动处方推荐示例如图 13 所示.首先基于个体的实例数据和运动评估模型,判断个体是否适合做运动;如果适合做运动,进一步判断是否需要做运动耐量实验;然后,基于个体实例数据、评估结果和领域语义知识库推荐个性化的运动处方,包括适合的运动项目、适合的运动强度、运动频率、适合的运动进行时间、适合的运动持续时间和运动注意事项.

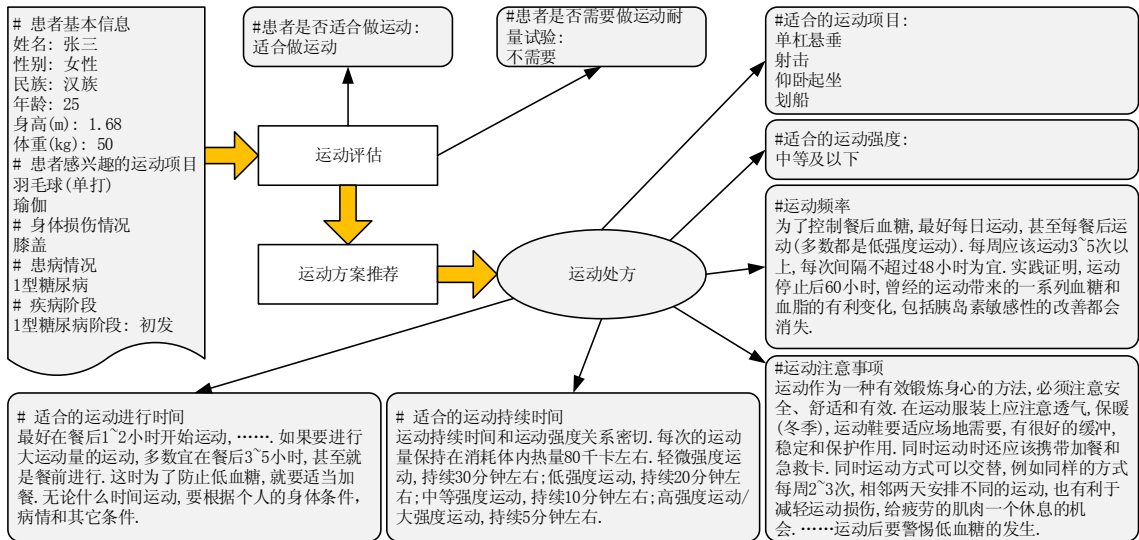


Fig.13 Exercise evaluation and personalized exercise prescription recommendation

图 13 运动评估和个性化运动处方推荐

## 4 方法评价

目前,相关研究工作还没有深入讨论本文提出的语义映射问题,也没有给出相应的语义映射方法.本文的研究动机和内容完全是基于实践中遇到的一部分问题,这些问题在相同领域的其他实践中以及其他领域中也都会遇到,属于共性问题.这些问题如果不解决,本体工程也得不到很好的实施和落地.

第3.1节的应用案例覆盖了本文提出的5类语义映射方法,当然,针对其他应用案例可能还会遇到其他需要解决的语义映射问题.基于本节提出的领域应用需求和本文提出的语义映射方法建立了领域语义知识库.基于领域应用的问题求解需求补充了领域语义规则集.通过向规则引擎传递个体实例数据(已知条件,也是显式知识)、领域语义知识库(显式知识)和领域语义规则集,获得推理结果(隐式知识).最后,基于 SPARQL 查询以获得个体的运动、饮食等干预方案.案例实现结果可以成功获取个体的运动处方.从推荐结果上看,干预计划完全符合个体的身体状况和干预需求.当然,推荐结果的好坏不仅仅是一个方法的问题,还涉及到领域语义知识库的规模和质量,尤其是面对具体应用场景的问题求解知识的科学性和正确性.基于知识的智能决策支持系统依赖领域专家和知识工程师的密切配合,以及适当的方法、手段和工具的支撑.

## 5 相关工作

目前,相关工作主要集中在以下几个方面.

1) 为知识工程师或者领域专家提供方便的本体编辑工具.

近年来,随着本体的应用范围越来越广泛,已经出现了很多本体构建工具,例如 Protégé, OntoEdit, KAON 等,本体构建工具为用户提供了友好的图形化操作界面,并通过集成语义推理引擎提供了本体构建过程中的语义一致性检查机制.借助这些工具,用户不必了解本体描述语言的细节,就可以方便地构建本体.而且,通过本体构建工具集成的语法和语义一致性检查机制,避免了很多错误的发生<sup>[43]</sup>.

以上这些工具仅仅提供了本体的辅助编辑功能,可以方便本文讨论的语义映射结果的创建和输入,但并未提供具体的本体建模方法.或者说,在使用这些本体编辑工具之前,需要事先在纸面上或者头脑中形成需要的本体模型,然后借助这些工具进行方便地形式化.

2) 从本体工程或本体论的角度提出本体建模的一些方法学.

文献[44]介绍了用于创建企业本体的 IDEF5 方法、骨架法以及用于创建领域本体的七步法以及 TOVE, Methontology 等通用本体创建方法.这些本体建模方法只提供本体建模的基本步骤和指导方针.

本体与面向对象对客观世界的认识方法有许多相似之处,可以借助面向对象的建模方法来建模本体.文献[11]从 UML 的静态模型和动态模型两个方面研究了本体的面向对象建模方法.文献[12]通过 UML 的类图来描述环境领域的本体模型,并提出了一种从 UML 类图各元素到本体 OWL 描述各元素的转换方法,详细阐述了从本体模型到 OWL 描述逻辑的转换过程和转换规则.

面向对象的本体建模方法主要是通过类图描述本体中的概念、属性和关系,但是由于领域知识体系的复杂性,类图这种简单的结构难以建模概念属性繁多、关系错综复杂的本体.因此,研究者们利用层次结构中层次结构清晰简洁的特点,通过层次建模方法对复杂本体进行建模.文献[13]提出了领域本体建模的4层模型,通过领域层、分类层、类层和实例层这4个层次构建领域本体.其中:领域层表示领域本体的领域名称,由领域专家定义的领域分类组成;分类层包括该领域的具体分类项;类层由各应用领域的类组成,每个类包括类名、属性集合和操作集合;实例层由各应用领域的实例组成,每个实例包括实例所属类的名称、属性集合和操作集合.文献[14]中提出了领域本体自顶向下建模的5层模型,用于自适应 Web 系统的本体建模.5层框架中包括数据层、概念层、用户层、自适应层和表示层,其中:数据层包括所有松散的 Web 数据单元;概念层包括由数据层的数据单元抽象而来的概念与概念之间的关系;用户层包括用户访问 Web 的方式及行为的信息;自适应层包括 Web 中的自适应规则和逻辑规则;表示层包括 Web 系统内容和结构的信息.

除了以上较通用的一些方法学以外,还有一些针对具体问题域或领域的领域语义知识库构建的方法学研

究.文献[45]从本体论的角度出发,探讨了几何学知识的获取及表示方法,然而仅简单描述了几何学本体的结构,列举了部分属性和关系,识别了一些简单的公理,并未清晰完整地给出几何学知识中的每类对象的本体描述方法,也未针对几何学本体知识在用于问题求解时可能需要补充的语义规则集进行讨论.文献[46]提出了基于 OWL 本体与 Prolog 规则的平面几何知识库的构建方法,用 Protégé 和 Prolog 构建了一个基于本体和规则的平面几何知识库,但还都是一些简单对象的语义映射.文献[47]设计了一个本体制导的基于问题框架方法的需求建模过程,为需求分析员提供建模指导并规范其建模活动.

文献[15,16]对几种面向具体学科领域或工程问题的本体建模方法进行了比较.以上本体建模方法或者只是提供基本的步骤和简单的指导原则,或者基于面向对象和层次化建模的思想提供了识别领域中类、类属性及类之间关系的方法,或者讨论了本体在特定领域中的一些应用,但仅仅构建了一些简单的类和实例对象.均未提及本文讨论的深层次语义映射问题.

### 3) 如何从领域数据源中半自动或自动地构建垂直领域语义知识库或知识图谱.

目前公认领域本体的开发需要领域专家的参与,但由于领域知识体系的复杂性,完全由人工构建几乎是不可能的,并且在时间上也是不可接受的.因此,如何利用知识获取技术来降低本体构建的开销,已成为一个非常活跃的研究方向,相关技术被称为本体学习(ontology learning)技术<sup>[43,48-50]</sup>.本体学习,又称为本体获取(ontology acquisition),即采用自然语言处理、统计分析、机器学习等技术自动或半自动地从领域数据中获取领域知识,并基于本体进行描述.领域数据的类型多种多样,不同类型的数据可能需要采用不同的本体学习方法,可以按领域数据的结构化程度将现有的本体学习技术大致分为基于结构化数据的本体学习技术、基于半结构化数据的本体学习技术和基于非结构化数据的本体学习技术.文献[43]对现有的本体学习技术和学习工具进行了调查.由于实现完全自动的知识获取技术还不现实,整个本体学习过程还是在用户指导下进行的一个半自动的过程.本体学习中的很多技术都依赖于对自然语言的处理,所以本体学习工具具有很强的语言特征,目前还没有一个能够很好地支持中文的本体学习工具.虽然目前已经提出了很多本体学习方法,但大部分方法都不理想.目前的本体学习工具的功能都非常有限,它们都仅能处理某些类型的数据源,获取某些本体学习对象,例如,将关系数据库中的表映射为本体模型中的概念,将表字段映射为概念的属性,将字段值映射为属性值等.文献[3]也探讨了如何将基于 XML 的 Web 服务、关系数据库以及其他类型数据源映射为 RDF 模型,但也是提取一些简单的对象和关系.

近年来,对知识图谱技术<sup>[51,52]</sup>的研究越来越受到关注.知识图谱是结构化的语义知识库,其描述方法同基于本体的知识表示模型.知识图谱可以用于支撑语义搜索、智能问答、知识推理等智能化、精准化的应用.各个垂直领域存在大量结构化、半结构化和非结构化的数据,如何发挥这些数据的价值,一种最可行的解决方法就是建立面向垂直领域的知识图谱,用于支撑垂直领域的语义搜索、数据集成、数据分析等智能化的应用.华东理工大学的阮彤教授就垂直领域的知识图谱,面向图书馆、证券、医疗等行业做了部分探索<sup>[53-56]</sup>,其研究工作聚焦在如何迭代式构建领域本体(即领域本体 Schema 定义)、如何从行业拥有的多种中文数据源(例如关系数据库、文本、网页等)中自动或半自动地抽取出结构化的领域知识(即领域实例数据定义)、如何实现异源数据的融合(即本体映射)等.

本体学习中的领域数据源往往并不是专家整理后的知识,而是一些面向业务过程的数据或者面向领域教育的素材.所以,现有的本体学习技术和工具还没有深入探讨本文提出的语义映射问题.

### 4) 通过本体集成和本体映射对现有的本体进行复用.

由于本体具有的强大的知识表示和推理能力,已经出现了很多基于本体构建的领域语义知识库.现有的本体构建方法<sup>[15-17]</sup>都强调在基于本体构建领域语义知识库之前,考虑集成和复用已经存在的领域本体库.一方面,因为构建领域本体库的目的本身是为了领域知识的共享、集成和复用,通过集成和复用已有的领域本体库,既体现了这个目的的价值,也有利用所构建的领域知识库的共享、集成和复用;另一方面,通过集成和复用已有的领域本体库,在此基础上进行修订和扩展,可以帮助快速构建满足领域应用问题求解需求的新的领域本体库,例如通过本体集成(ontology integration)<sup>[57]</sup>和本体映射(ontology mapping)<sup>[58]</sup>的方法来快速构建所需要的领域本



体知识库。本体集成是指在建立一个新本体时重用其他现有的本体,大多数本体的创建都重用了已有的其他本体;本体集成通过本体扩展(ontology extension)构建新的本体。

本体映射又称为本体对准(ontology alignment)<sup>[3,59]</sup>,本体映射是指通过对两个本体进行语义的联系,实现将源本体的实体(即资源)映射到目标本体实体上的过程;本体映射通过本体比较(ontology comparison)将两个或多个本体归并或合并为一个本体。本体集成和本体映射企图复用已有的本体快速构建新的领域本体,以满足领域应用的知识需求。本体集成过程会基于领域知识对复用的本体内容进行调整、修正和扩展,本体映射过程也会参考领域知识实现资源间语义的对准和修正,但现有的研究更多的强调对复用本体的处理,并未涉及本文的研究工作。

## 6 总结和进一步的工作

本文从具体实践中识别了5类语义映射的共性问题,对其进行了讨论,提出了对应的解决方案。然后,通过一个完整的应用案例对这5类语义映射方法进行了验证,证明了其可用性。这5类语义映射问题在所有领域中都存在,这里提出的语义映射方法也适用于各种类似的应用场景。语义映射的结果最终会用于领域问题的求解,所以还需要根据具体应用场景补充问题求解知识。问题求解结果的好坏取决于很多因素,例如语义映射方法的正确性、领域语义知识库的规模和质量、面对具体应用场景的问题求解知识的科学性和正确性等。

除了本文讨论的几个语义映射的通用问题以外,在不同领域的各种应用场景中还存在很多其他需要解决的语义映射问题或建模方法问题,例如各个领域中都存在大量模糊的和不确定性的知识,如何对这些知识进行准确的语义建模和语义推理,是一个值得研究的共性问题。对于此类问题,现有的研究主要分为两类:从逻辑层面通过引入模糊逻辑对描述逻辑进行扩展,形成模糊描述逻辑;从本体描述语言层面对领域本体进行模糊扩展,形成模糊本体。但这两类研究都存在很多不足,需要深入探讨。

### References:

- [1] Studer R, Benjamins VR, Fensel D. Knowledge engineering: Principles and methods. *Data and Knowledge Engineering*, 1998, 25(1/2):161–197. [doi: 10.1016/S0169-023X(97)00056-6]
- [2] Berners-Lee T, Hendler J, Lassila O. The semantic Web: A new form of web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities. *Scientific American*, 2001,284(5):34–43.
- [3] Hebel J, Fisher M, Blace R, Perez-Lopez A. *Semantic Web Programming*. Indianapolis: Wiley Publishing, 2009.
- [4] Manola F, Miller E, McBride B. RDF 1.1 primer. W3C, 20140225, 2014. <https://www.w3.org/TR/rdf11-primer/>
- [5] Brickley D, Guha RV. RDF schema 1.1. W3C, 20140225, 2014. <https://www.w3.org/TR/2014/REC-rdf-schema-20140225/>
- [6] Smith MK, Welty C, McGuinness DL. OWL Web Ontology Language Guide. W3C, 20040210, 2004. <https://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210/>
- [7] Protégé ontology editor. <http://protege.stanford.edu/>
- [8] Sure Y, Angele J, Staab S. OntoEdit: Multifaceted inferencing for ontology engineering. *Journal on Data Semantics I*, 2003,2800: 128–152. [doi: 10.1007/978-3-540-39733-5\_6]
- [9] KAON: The karlsruhe ontology and semantic Web tool suite. <http://www.aifb.kit.edu/web/KAON>
- [10] Antoniou G, Harmelen FV. *A Semantic Web Primer*. 2nd ed., Cambridge: MIT Press, 2008.
- [11] Kim IW, Lee KH. A model-driven approach for describing semantic Webservices: From UML to OWL-S. *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 2009,39(6):637–646. [doi: 10.1109/TSMCC.2009.2023798]
- [12] Iribarne L, Padilla N, Asensio JA, Criado J, Ayala R, Almendros J, Menenti M. Open-Environmental ontology modeling. *IEEE Trans. on Systems, Man and Humans*, 2011,41(4):730–745. [doi: 10.1109/TSMCA.2011.2132706]
- [13] Lee CS, Kao YF, Kuo YH, Wang MH. Automated ontology construction for unstructured text documents. *Data & Knowledge Engineering*, 2007,60:155–176. [doi: 10.1016/j.datak.2006.04.001]

- [14] Raufi B, Ismaili F, Zenuni X. Modeling a complete ontology for adaptive Web based systems using a top-down five layer framework. In: Proc. of the 31st Int'l Conf. on Information Technology Interfaces (ITI 2009). 2009. 511–518. [doi: 10.1109/ITI.2009.5196136]
- [15] Li J, Meng LS. Comparison of seven approaches in constructing ontology. *New Technology of Library and Information Service*, 2004,7:17–22 (in Chinese with English abstract).
- [16] Subhashini R, Akilandeswari J. A survey on ontology construction methodologies. *Int'l Journal of Enterprise Computing and Business Systems*, 2011,1(1).
- [17] Noy NF, McGuinness DL. Ontology development 101: A guide to creating your first ontology. Technical Report: KSL-01-05. Stanford Knowledge Systems Laboratory, 2001. [doi: 10.1016/j.artmed.2004.01.014]
- [18] Gruber TR. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *Int'l Journal of Human and Computer Studies*, 1995,43(5/6):907–928. [doi: 10.1006/ijhc.1995.1081]
- [19] Chen DY, Zhao H, Zhang X, Zhao LJ, Ping A. Study on semantic Web security. *Journal on Communications*, 2012,33(Z2):45–59 (in Chinese with English abstract). [doi: 10.3969/j.issn.1000-436x.2012.z2.007]
- [20] Horrocks I, Patel-Schneider PF, Boley H, Tabet S, Grosz B, Dean M. SWRL: A semantic Web rule language combining OWL and RuleML. W3C, 20040521, 2004. <https://www.w3.org/Submission/SWRL/>
- [21] Garlik SH, Seaborne A. SPARQL 1.1 query language. W3C, 20130321, 2013. <https://www.w3.org/TR/sparql11-query/>
- [22] Tan SS, Chiarello P, Quentin W. Knee replacement and diagnosis-related groups (DRGs): Patient classification and hospital reimbursement in 11 European countries. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 2013,21(11):2548–2556. [doi: 10.1007/s00167-013-2374-6]
- [23] Bollacker K, Evans C, Paritosh P, Sturge T, Taylor J. Freebase: A collaboratively created graph database for structuring human knowledge. In: Proc of the KDD. New York: ACM, 2008. 1247–1250. [doi: 10.1145/1376616.1376746]
- [24] Noy N, Rector A, Hayes P, Welty C. Defining *N*-ary relations on the semantic Web. W3C, 20060412, 2006. <https://www.w3.org/TR/swbp-n-aryRelations/>
- [25] Apache Jena. <http://jena.apache.org/>
- [26] Chen DY, Zhao H. Data security and privacy protection issues in cloud computing. In: Proc. of the 2012 Int'l Conf. on Computer Science and Electronic Engineering (ICCSEE 2012). 2012. 647–651. [doi: 10.1109/ICCSEE.2012.193]
- [27] Nagi D. Exercise and Sport in Diabetes. 2nd ed., Wiley, 2005.
- [28] Zhou SH, Fan ZH. Practical Rehabilitation Medicine. Nanjing: Southeast University Press, 1989. 351–355 (in Chinese).
- [29] SNOMED CT. <http://www.ihtsdo.org/snomed-ct/>
- [30] MeSH (medical subject headings). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/>
- [31] Unified medical language system (UMLS). <https://www.nlm.nih.gov/research/umls/>
- [32] OpenGallen. <http://www.opengallen.org/>
- [33] The OBO foundry. <http://www.obofoundry.org/>
- [34] OBI ontology. <http://obi-ontology.org/>
- [35] Campana F, Moreno A, Riaño D, Varga LZ. K4Care: Knowledge-based homecare e-services for an ageing europe. In: Annicchiarico R, Cortés U, Urdiales C, eds. Proc. of the Agent Technology and e-Health. Whitestein Series in Software Agent Technologies and Autonomic Computing. Switzerland: Birkhäuser Verlag Basel, 2007. 95–115. [doi: 10.1007/978-3-7643-8547-7\_6].
- [36] Cantais J, Dominguez D, Gigante V, Laera L, Tamma V. An example of food ontology for diabetes control. In: Proc. of the Int'l Semantic Web Conf., 2005 Workshop on Ontology Patterns for the Semantic Web. 2005.
- [37] Kostopoulos K, Chouvarda I, Kokonozi A, Gils MV. An ontology-based framework aiming to support personalized exercise prescription: Application in cardiac rehabilitation. In: Proc. of the 33rd Annual Int'l Conf. of the IEEE EMBS. Boston: IEEE, 2011. 1567–1570. [doi: 10.1109/IEMBS.2011.6090456]
- [38] Pramono D, Setiawan NY, Sarno R, Sarno M. Physical activity recommendation for diabetic patients based on ontology. In: Proc. of the 7th ICTS. Bali, 2013. 27–32.

- [39] Izumi S, Kuriyama D, Itabashi G, Takahashi K. An ontology-based advice system for health and exercise. In: Proc. of the 10th IASTED Int'l Conf. on Internet and Multimedia Systems and Applications (IMSA 2006). 2006. 95–100.
- [40] Beckett D, Berners-Lee T. Turtle-Terse RDF triple language. W3C, 20110328, 2011. <https://www.w3.org/TeamSubmission/turtle/>
- [41] Jena TDB. <http://jena.apache.org/documentation/tdb/index.html>
- [42] Reasoners and rule engines: Jena inference support. <http://jena.apache.org/documentation/inference/>
- [43] Du XY, Li M, Wang S. A survey on ontology learning research. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2006,17(9):1837–1847 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/1837.htm> [doi: 10.1360/jos171837]
- [44] Gan JH, Jiang Y, Xia YM. Ontology Method and Its Application. Beijing: Science Press, 2011 (in Chinese).
- [45] Zhong XQ, Fu HG, She L, Huang B. Geometry knowledge acquisition and representation on ontology. Chinese Journal of Computers, 2010,33(1):167–174 (in Chinese with English abstract). [doi: 10.3724/SP.J.1016.2010.00167]
- [46] Zhong XQ, Liu Z, Ding PP. Construction of knowledge base on hybrid reasoning and its application. Chinese Journal of Computers, 2012,35(4):761–766 (in Chinese with English abstract). [doi: 10.3724/SP.J.1016.2012.00761]
- [47] Chen XH, Yin B, Jin Z. Ontology-Guided requirements modeling based on problem frames approach. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2011,22(2):177–194 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3755.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2011.03755]
- [48] Sivasankari S, Jacob SG. An automated ontology learning for benchmarking classifier models through gain-based relative-non-redundant (GBRNR) feature selection: A case-study with erythemato. Int'l Journal of Business Intelligence & Data Mining, 2018,1(1).
- [49] Wang Y, Gao W. Ontology learning algorithm using distance measure computation. Journal of Southwest China Normal University, 2018,43(1):40–46 (in Chinese with English abstract). [doi: 10.13718/j.cnki.xsxb.2018.01.006]
- [50] Lin Z. Terminological ontology learning based on LDA. In: Proc. of the Int'l Conf. on Systems and Informatics. IEEE, 2018. 1598–1603. [doi: 10.1109/ICSAI.2017.8248539]
- [51] Wang HF. Large scale knowledge graph technology. Communications of the CCF, 2014,10(3):64–68 (in Chinese with English abstract).
- [52] Liu Q, Li Y, Duan H, Liu Y, Qin ZG. Knowledge graph construction techniques. Journal of Computer Research and Development, 2016,53(3):582–600 (in Chinese with English abstract). [doi: 10.7544/issn1000-1239.2016.20148228]
- [53] Ruan T. Vertical knowledge graph making tools and its application in industry. 2014 (in Chinese). <http://www.cipsc.org.cn/kg2/>
- [54] Fang ZJ, Wang HF, Gracia J, Gil JB, Ruan T. Zhishi.lemon: On publishing zhishi.me as linguistic linked open data. In: Proc. of the 15th Int'l Semantic Web Conf. (ISWC 2016). Kobe: Springer-Verlag, 2016. [doi: 10.1007/978-3-319-46547-0\_6]
- [55] Wang HF, Wu TX, Qi GL, Ruan T. On publishing Chinese linked open schema. In: Proc. of the 15th Int'l Semantic Web Conf. (ISWC 2014). Trentino: Springer-Verlag, 2014. [doi: 10.1007/978-3-319-11964-9\_19]
- [56] Ruan T, Xue LJ, Wang HF, Hu FH, Zhao L, Ding J. Building and exploring an enterprise knowledge graph for investment analysis. In: Proc. of the 15th Int'l Semantic Web Conf. (ISWC 2016). Kobe: Springer-Verlag, 2016. [doi: 10.1007/978-3-319-46547-0\_35]
- [57] Jadhav SB, Pardeshi SN. Ontology intergration with semantic similar entity classes amongst different ontologies for enhanced information retrieval. Int'l Journal of Recent Trends in Engineering, 2009,2(3):132–134. [doi: 10.1.1.381.7277]
- [58] Zaiß K, Schlüter T, Conrad S. Instance-Based ontology matching using different kinds of formalisms. Int'l Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering, 2009,3(7):1716–1724. [doi: 10.1.1.193.3112]
- [59] Lambrix P, He T. Ontology alignment and merging. Computational Biology, 2008,6:133–150. [doi: 10.1007/978-1-84628-885-2\_6]

#### 附中文参考文献:

- [15] 李景,孟连生.构建知识本体方法体系的比较研究.现代图书情报技术,2004,7:17–22.
- [19] 陈德彦,赵宏,张霞,赵立军,平安.语义 Web 安全研究.通信学报,2012,33(Z2):45–59. [doi: 10.3969/j.issn.1000-436x.2012.z2.007]
- [28] 周士仿,范振华.实用康复医学.南京:东南大学出版社,1989.351–355.
- [43] 杜小勇,李曼,王珊.本体学习研究综述.软件学报,2006,17(9):1837–1847. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/1837.htm> [doi: 10.1360/jos171837]
- [44] 甘健侯,姜跃,夏幼明.本体方法及其应用.北京:科学出版社,2011.

- [45] 钟秀琴,符红光,余莉,黄斌.基于本体的几何学知识获取及知识表示.计算机学报,2010,33(1):167-174. [doi: 10.3724/SP.J.1016.2010.00167]
- [46] 钟秀琴,刘忠,丁盘苹.基于混合推理的知识库的构建及其应用研究.计算机学报,2012,35(4):761-766. [doi: 10.3724/SP.J.1016.2012.00761]
- [47] 陈小红,尹斌,金芝.基于问题框架的需求建模:一种本体制导的方法.软件学报,2011,22(2):177-194. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3755.htm> [doi: 10.3724/SP.J.1001.2011.03755]
- [49] 王燕,高伟.基于距离测度计算的本体学习算法.西南师范大学学报(自然科学版),2018,43(1):40-46. [doi: 10.13718/j.cnki.xsxb.2018.01.006]
- [51] 王昊奋.大规模知识图谱技术.中国计算机学会通讯,2014,10(3):64-68.
- [52] 刘峤,李杨,段宏,刘瑶,秦志光.知识图谱构建技术综述.计算机研究与发展,2016,53(3):582-600. [doi: 10.7544/issn1000-1239.2016.20148228]
- [53] 阮彤.垂直知识图谱构造工具与行业应用.2014. <http://www.cipsc.org.cn/kg2/>



陈德彦(1977—),男,博士,正高级工程师,主要研究领域为自然语言处理,语义 Web,知识工程,数据挖掘,机器学习,网络与信息安全.



张霞(1965—),女,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为软件架构,软件工程,数据库,大数据,人工智能.



赵宏(1954—),男,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为下一代网络,网络与信息安全,网络管理,图像处理.