

小叙本体在设计信息及知识管理中的应用

刘滢¹, 林顺聪², 陈泳³

1. 卡迪夫大学机械工程学院, 卡迪夫 CF24 3AA
2. 敦胡先翁大学工程教育学系, 马来西亚, 柔佛州巴株巴辖, 86400
3. 上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200240

摘要 随着计算机辅助设计、加工、制造等应用的迅速发展,设计相关信息与知识管理面临信息量迅猛增长的挑战与机遇。其中,本体应用成为描述设计信息与知识的一种可行、有效及丰富的建模手段。本文通过回顾本体应用于设计工程领域的相关研究,对设计工程中基于本体的应用进行了整体分类,阐明了设计工程领域中本体应用的核心学术研究问题,并为后续相关的5项研究热点及未来发展方向提出了建议。

关键词 本体;设计工程;设计信息;信息管理;知识管理

随着客户对于产品的认知升级与需求变化,产品的性能、美学设计、成本控制等相关设计课题为企业带来严峻的挑战。企业必须在不断缩短的产品周期,狭窄的利润空间等多重考量下,不断探索最优设计方案,以满足不同客户对个性化定制的期望。为了解决这些问题,计算机辅助设计、仿真与制造等应用扮演着关键角色,实现了产品快速设计,提升了生产制造效率,也保证了产品的质量。从产品的设计、分析、制造、销售与服务等不同产品生命周期阶段里,每个阶段中计算机的相关应用所生成的信息会随着产品数量增加而呈现信息量的爆增。这些设计相关信息包括设计方案、三维数字化设计模型档案、设计师日志、工程手册、专利文档、在线产品目录等,一般零散地储存于企业不同的数据库。

面对海量的设计信息,如何高效地采集、索引、存储和检索信息成为迫切需要探讨及解决的问题。一项研究显示,企业往往针对不同的产品生命周期阶段,构建7~12个不同的信息系统或平台^[1],如物料需求计划(MRP)系统或企业资源计划(ERP)系统,客户关系(CRM)系统,及产品生产计划(master production schedule)等。基于不同的信息系统可能使用不同的信息架构与信息接口标准,将导致不同系统之间的互通难以实现,进而影响了整体决策的全面性。由于设计人员

一般利用20%~30%的时间检索过去的设计案例^[2],新手设计师也需要更好的搜索支援^[3],不互通的信息系统导致信息难以被集成以便于全面、整体的元搜索,限制了多元、统一的搜寻结果,进而影响整体设计的进度。

当前,信息领域的快速发展为制造业产生了深刻的影响。互联网、大数据、云计算、协作机器人、人工智能等新一代技术加速了制造业往信息化、数字化、网络化、及智能化的方向发展,也推动着制造业的转型升级,实现智能设计与制造。这些技术将引领整个制造业的产业链产生革命性的变化,实现产品设计、制造、服务的异地协同。基于统一信息标准的数据传输、云计算、共享资源等服务,让生产资源可以进行有效及最优配置,以满足不同类型的客户需求。由此可见,一个统一、可互通的信息与知识模型对于提升效率扮演着至关重要的角色。

针对前文所阐述的各项要求,本体被认为是一种可行的信息建模与知识描述手段。本体为语义网的基本构建体,以计算机可理解的语言结构形式,可系统且丰富地描述领域知识,通过概念分层方式描述知识的分类结构,支持形式化概念与非形式化概念的混合描述与呈现,并且通过映射找到不同本体相似概念、元素之间的语义对应关系。本体可通过实

收稿日期:2017-08-15;修回日期:2017-11-01

作者简介:刘滢,副教授,研究方向为设计信息学等,电子邮箱:LiuY81@cardiff.ac.uk

引用格式:刘滢,林顺聪,陈泳.小叙本体在设计信息及知识管理中的应用[J].科技导报,2017,35(22):65-70;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2017.22.008

例来丰富每个概念结点所拥有的语义信息,便于更完善的信息集成、知识积累,以构建设计领域的知识体系,允许领域信息或知识于不同视角的呈现,以发掘不同视角中新的设计领域知识。

1 本体于设计工程中的应用

本体于现有的设计信息和知识管理体系中的应用如图1所示。整体而言,可包含3大类:1)设计信息的标注,共享与检索;2)产品的配置设计;3)设计信息与知识互通。

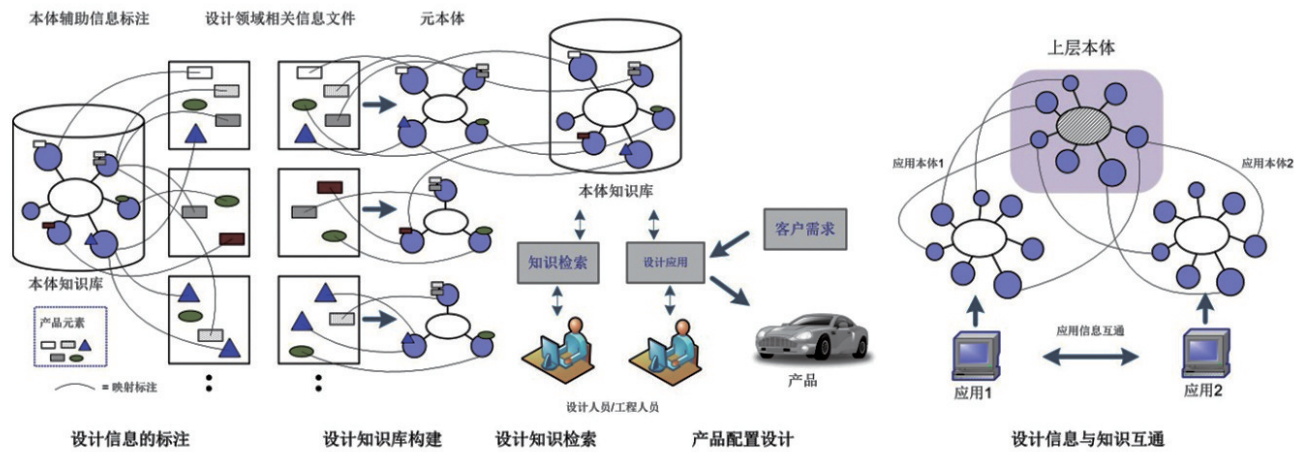


图1 本体于设计信息和知识管理体系中的应用

Fig. 1 Application of ontology in design information and knowledge management

1.1 设计信息的标注,共享与检索

基于本体是信息建模与知识描述的有效手段,本体被广泛地应用在设计信息的标注,实现信息资源共享及更有效率的信息与知识检索。这包括两方面的应用角色:本体为最底层的知识库,辅助设计人员完成信息标注;本体扮演着知识数据库的角色,实现更有效率的信息与知识检索。两者相辅相成,构成完善的设计信息搜索及知识发掘体系。

目前,以本体辅助的信息标注研究方向主要为知识库的构建,信息标注的手段,构建基于语义的设计工程相关知识检索体系。举例,Kitamura等^[4]建构了Funnotation的信息标注体系,研发人工标注的工具,并应用于产品功能的标注,以实现产品功能分析的目的。Li等^[5]基于预先定义的工程本体,实现为工程文件半自动化生成语义元数据,构建工程文件语义搜索体系。Catalano等^[6]研究了如何基于汽车美学本体、图像处理等技术,以实现半自动化二维与三维的汽车数字化设计模型的美学标注。

另一方面,以基于本体的知识库为支撑,可实现更高效、便捷、全面的知识检索,用于辅助设计人员完成各种设计相关的决策任务。基于本体的知识库通过不同本体之间的分层概念、元素之间的语义映射,实现不同知识库间的链接及更全面的知识覆盖。除此之外,基于本体的知识库也可以通过设计实例丰富每个概念结点所拥有的语义信息,进一步达到知识库更新的目的。例如,Kitamura等^[4]建构Funnotation知识库可以实现基于不同视角的产品功能知识检索。Groose等^[7]发表了一个基于本体的工程分析知识库ON-TEAM,以方便不同工程企业之间共享工程分析数字模型与分析结果。

Witherell等^[8]则构建了一个基于本体的优化模型知识库ON-TOP,用于辅助工程师对应优化问题搜索最佳模型。Lim等^[9]提出了一个以多视角标注的产品族本体为支撑的信息管理与检索框架,以产品族平台搜索为手段,实现了产品族设计中的智能化零部件相匹配,并通过产品族的设计案例证明了其实用性。陈泳等^[10]利用本体来描述设计相关的功能,以辅助功能导向的工程设计,并为概念设计的抽象概念进行描述与建模^[11]。Huang等^[12]提出了基于本体的三维数字化设计模型信息检索,以提升模型的可重复使用性。Qin等^[13]也提出了基于三维数字化设计模型元数据的本体建模,结合本体的推理机等技术,实现语义搜索体系。

1.2 产品的配置设计

基于本体的产品配置设计是另一个于设计领域的研究热点。产品配置是一项复杂的过程,涉及多个方面的考量,如零部件与产品平台之间的相匹配,整体配置后的产品性能及成本控制等。产品配置的主要研究问题是在考虑了各种的零部件、产品平台之间的相匹配条件,以及在各种产品相关的需求及条件约束下,如何找到最优的产品配置方案,以满足客户需求。本体作为产品的知识模型,能为产品配置问题提供全面性的参考,有效地提升研发新产品的效率。早期研究显示,Soinin等^[14]是最早提出基于本体的产品结构及配置模型,并建议了产品配置相关的概念建模细节。随后,McGuinness和Wright^[15]也提出产品配置本体的概念建模,着重以描述逻辑为手段解决产品组装时的配置问题。应用方面,Yang等^[16]探讨了基于本体的产品配置规则生成新的产品配置。Nanda等^[17]也提出了如何使用产品族的本体建模,解决

产品族配置设计的问题。Liu等^[18]提出了以多视角标注的产品族本体为支撑,辅助产品设计人员解决产品族设计分析及子产品的最优配置问题。

1.3 设计信息与知识互通

随着企业的设计工程信息资源数量的快速增长,相关的应用和需求也在不断地扩大。然而,传统的信息数据库技术并不考虑不同信息资源间的结构组织,导致各种信息或知识源无序、零散地分布在成千上万的数据库里。为了使不同的工程应用和服务之间的语义互操作性成为可能,本体成为解决语义异构问题的关键。通过本体间的映射,可以实现链接不同本体相似元素之间的语义对应关系,达到领域知识互通、共享的目的。信息与知识互通的相关研究主要有两方面:本体作为概括性的知识映射结构,实现不同本体之间的互通;本体作为知识的元结构,用于集成不同的信息与知识,达到丰富本体知识的目的。

基于本体的知识映射结构可有效地解决同领域本体间的异构与不一致性问题,以方便工程应用之间的交互操作。在这种情况下,本体也可被称为“上层本体”,通过更高层次的抽象概念描述,提供通用的术语或词汇解决语义描述二义性的问题。其中一个经典例子,是利用本体实现计算机辅助设计(CAD)应用与计算机辅助流程规划(CAPP)应用之间的交互操作,实现跨应用的信息交换^[19]。其他例子包括:Oh等^[20]提出一种基于本体的语义网关实现不同商务文档间的语义映射手段;Lin等^[21]提出使用制造系统工程(MSE)的本体解决不同工程项目团队间的语义异构问题;Cho等^[22]研究了基于零部件元本体而进行不同零部件数据库间的映射,用以实现零部件元搜索的目的。值得注意的是,大体上这些研究,是通过特定工具,手动实现本体间的映射过程的。

另一方面,元本体可将信息源进行集成,趋向更丰富、统一的知识本体构建。Bellatreche等^[23]提出使用元本体自动整合电子目录,以确保数据的一致性。Ye等^[24]提出了在供应链相关应用中,基于供应链本体(SCO)的供应链信息整合。此外,元本体也可以用于高效率、正确性高的信息转换。举例,由EXPRESS作为驱动的产品信息模型,可以通过元本体进行信息,自动生成对应的网络本体语言(OWL)和语义网规则语言(SWRL)为驱动的产品信息模型^[25]。Palmer等^[26]推荐了全球生产制造网的本体,以辅助基于全球生产制造网的生产调度、决策等应用互通。

2 未来研究热点与发展方向

2.1 本体的构建

本体为丰富、灵活的信息模型,可以用来描述具体或抽象的概念,并在日渐趋向于基于互联网、大数据、人工智能的设计工程领域有很好的应用。然而,从文献回顾可以得知本体的构建(development)基本上还是需要手工构建的。为了确保本体的有效性、正确性、与减低语义异构和二义性问题,这是一项繁琐的过程,并需要投入大量时间和人力资源的工

作。因此,本体的构建方法是一项重点研究课题,重点在于如何提升本体构建的效率,减少人工的投入,并在加速本体的构建同时,可以确保本体的正确性。目前,解决此问题的方法,主要有计算机辅助的本体标注(半自动化)或自动化的本体生成两种方式。第一种方式,是计算机通过文本挖掘等手段,通过分析领域相关文献后提取重点概念及元素,以辅助本体的构建人员更全面、高效地进行本体标注^[27]。第二种方式跟第一种方式类似,本体也是通过计算机分析领域文献而自动化生成本体的。这方面相关的研究有如Text-to-Onto^[28]、OntoLearn^[29]、FRED^[30]和CFinder^[31]等体系,通过文本挖掘、关系权重分析等计算机技术提取及定义本体的概念、元素、及它们之间的相对应关系。

2.2 本体的映射

本体的映射(mapping)除了是本体构建的基础,更是把不同的知识库连接起来以构建超级知识库的终极手段。举例,通过统一的属性及概念标注,自动化的本体映射可以实现本体与本体间的链接。设计人员可以按照当前的设计考量与需求,把不同领域的知识本体,如供应链、元部件性能、能耗、环保材料等本体,跟产品的本体连接,实现一个多视角的本体,以构建产品相关的超级知识库。此外,专家的实践知识也可通过知识工程等手段进行本体建模,并跟产品的知识本体链接。设计人员通过导览本体概念及语义搜索等方式,可获取多视角的产品信息与知识,以实现更全面的设计考量、解决方案及总决策。另一方面,智能产品的内建反馈机制,如基于硬件的反馈(如报告、客户服务联系按钮)及基于软体的反馈(如内建的使用数据传输及评论机制等),通过物联网技术,可以更快速、或实时地反馈用户的真实体验。这些数据,可基于本体的产品知识为框架的分析,快速帮助设计人员更好地理解产品的优缺点、体验需求等实际要求,提升产品素质及服务体验,以强化用户对于产品的忠诚度。

由文献回顾可以得知为了确保映射的正确性,大多数映射手段还是通过手动完成的。其中,仍然需要考量随着本体更新导致的标注变化对于本体映射所产生的影响。但随着互联网、大数据的发展趋势,更为有效率、自动化地解决本体映射是一个研究热点。目前,基于计算机技术的映射手段如文本字符串对应、概念结构对应等显然是比较可行的方法。例如,通过实例名称及与其相关联的属性描述,丰富每个概念结点之间的映射,相关的工具有GLUE, ONION和FCA-Merge等体系^[32],或相对近期发表的体系如RODI^[33]和Ingenious-TRIZ^[34]等。但基于本体的概念描述、语义描述不一致问题及二义性问题的复杂性,仍需探讨统一有效的解决方案。

2.3 本体的更新

目前,大多数研究并没有特别强调本体的更新(update)问题。对于“上层本体”而言,更高层次的抽象概念及语义描述可能涵盖了通用知识的模型,并且极少可能需要更新。但特定设计领域的本体,如新产品零部件或组件、用户需求、营销策略、绿能策略等相关本体,是有可能在未来产生变化。

在未来,以人工智能、机器学习为手段,大数据的普及化将会加速新知识的挖掘及迭代。本体身为丰富的知识建模体系,将会因为大数据而变得更丰富,并在设计领域里将扮演举足轻重的角色。例如,通过大数据分析及相关的本体知识建模,竞争者的新产品将可以更好的被分析及理解。新产品的多视角分析与理解,如产品的科技应用、功能、体验等知识,可应用于新产品策划的工作中,并通过语义搜索、本体导览等方式,更好地辅助设计人员进行产品创新等复杂工作。此外,通过分析专利文档并对其文档所挖掘到的数据进行相关的本体建模,可更好地让公司发掘、学习新技术的精髓,并确认自身的技术短板。这将可以更好的辅助公司策划未来的科研技术重点,以提升整体的技术水平。这一切也意味着本体需根据外部知识源的变化而做出及时的调整,以实现本体的进化。

此外,本体结构的变化,通常会引发设计工程的连锁效应。例如位于前端的设计更改(如产品规格的变更)可能会对后端的过程(如制造计划、生产调度等)产生影响。在这个方面相关的研究有如 Vagetti 等^[35]提出了 OntoTracED 本体构建框架以实现本体建模、捕获及变化追踪进程一体化。另外,跟后端生产工程相关的研究,有 Balakirsky^[36]提出的基于敏捷制造本体的即时性生产调度,以及 Hong 等^[37]所提出的基于人机结合概念设计的本体,以解决超精密磨床相关的不确定性与盲点问题等研究。整体而言,为了保持前端设计工程相关本体,跟后端制造工程相关本体的高度关联性,如何有效率、低成本、动态地更新本体,以确保知识的高度关联性、正确性及有效性,成为重要的研究热点。

2.4 本体的评估

除了构建,映射和更新的问题外,本体的评估(evaluation)问题是另一项研究热点。本体的评估主要目的是要确保本体的正确性,并在本体的结构建模,映射,语义描述等各方面,评估相对于领域知识的一致性与准确性。通常评估的过程都需要涉及领域专家的验证。沿着半自动或自动化本体构建、映射及更新的思路,未来的研究重点是如何实现减少专家的参与、或在没有专家参与的情况下自动化完成本体评估的所有任务。由此看来,除了应用计算机技术如人工智能来学习领域知识以达到自动评估本体的目的,一个基于网络协作的本体构建方式,如基于 Protégé 这个斯坦福大学研发的本体编辑软件所衍生出来的网上应用 WebProtégé 体系^[38],或其他相关体系如 MoKi^[39]、OntoCheck^[40]及 OOPS!^[41]等也是可行的手段。除此之外,我们也认为通过众包(crowd-sourcing)等协作方式,或基于多人协作的版本控制方式(如类似 Git 版本控制体系)也可能在未来盛行,实现低成本,快捷的本体多方面评估。

2.5 本体的可视化

本体的可视化(visualization)允许用户通过视觉元素,更直观地理解本体的结构、概念与元素,实现本体编辑、探索、搜索等操作。然而,有鉴于本体复杂的定义及描述,如结构、

概念和元素之间的链接,还有对应的语义关系与继承关系等复杂描述,如何更简洁、直观的视觉化呈现成为值得研究的方向。另一方向,如何设计简单好用的用户界面以方便用户进行本体的操作和交互也是研究的重点。在这个方向,其中代表性的研究成果有基于 Protégé 本体编辑软件的视觉插件 ProtégéVOWL^[42]及面向网路应用的插件 WebVOWL^[43]。由于现代行动装置的普及化,我们也认为基于多点触控用户界面的本体二维及三维用户界面设计^[44]是现实的研究方向,以实现本体的简易编辑、构建、映射等操作,让本体构建、更新和评估的整体效率得以提升。

3 结论

回顾了本体应用于设计工程领域的相关文献,把设计工程中基于本体的应用分为设计信息的标注、共享与检索,设计信息与知识互通,及产品的配置设计3大类,并为后续5个相关研究热点阐明了学术研究重点、目前现状及未来可行的发展方向。

参考文献(References)

- [1] Hicks B J, Culley S J, McMahon C A. A study of issues relating to information management across engineering SMEs[J]. International Journal of Information Management, 2006, 26(4): 267-289.
- [2] Court A W, Ullman D G, Culley S J. A comparison between the provision of information to engineering designers in the UK and the USA[J]. International Journal of Information Management, 1998, 18(6): 409-425.
- [3] Ahmed S, Wallace K M. Understanding the knowledge needs of novice designers in the aerospace industry[J]. Design Studies, 2004, 25(2): 155-173.
- [4] Kitamura Y, Washio N, Koji Y, et al. An ontology-based annotation framework for representing the functionality of engineering devices[C]. Proceedings of the ASME 2006 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE), 2006: 1-10.
- [5] Li Z, Ramani K. Ontology-based design information extraction and retrieval[J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 2007, 21(2): 137-154.
- [6] Catalano C E, Giannini F, Monti M, et al. A framework for the automatic annotation of car aesthetics[J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 2007, 21(1): 73-90.
- [7] Grosse I R, Milton-Benoit J M, Wileden J C. Ontologies for supporting engineering analysis models[J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 2005, 19(1): 1-18.
- [8] Witherell P, Krishnamurty S, Grosse I R. Ontologies for supporting engineering design optimization[J]. Journal of Computing and Information Science in Engineering, 2007, 7(2): 141-150.
- [9] Lim S C J, Liu Y, Lee W B. Multi-facet product information search and retrieval using semantically annotated product family ontology[J]. Information Processing & Management, 2009, 46(4): 479-493.
- [10] Chen Y, et al. Toward a scientific ontology based concept of function [J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 2013, 27(3): 241-248.
- [11] Chen Y, Zhao M, Xie Y B, et al. A new model of conceptual design

- based on Scientific Ontology and intentionality theory. Part I: The conceptual foundation[J]. *Design Studies*, 2015, 37(Suppl C): 12–36.
- [12] Huang M, Sui S, Mou W, et al. Three-dimensional CAD model retrieval algorithm based on ontology[J]. *Procedia CIRP*, 2016, 56(Suppl C): 590–593.
- [13] Qin F, Gao S, Yang X, et al. An ontology-based semantic retrieval approach for heterogeneous 3D CAD models[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2016, 30(4): 751–768.
- [14] Soininen T, Tiihonen J, Männistö T, et al. Towards a general ontology of configuration[J]. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 1998, 12(4): 357–372.
- [15] McGuinness D L, Wright J R. Conceptual modelling for configuration: A description logic-based approach[J]. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 1998, 12(4): 333–344.
- [16] Yang D, Dong M, Miao R. Development of a product configuration system with an ontology-based approach[J]. *Computer-Aided Design*, 2008, 40(8): 863–878.
- [17] Nanda J, Simpson T W, Kumara S, et al. A methodology for product family ontology development using formal concept analysis and web ontology language[J]. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 2006, 6(2): 103–113.
- [18] Liu Y, Lim S C J, Lee W B. Product Family Design through ontology-based faceted component analysis, selection and optimization[J]. *Journal of Mechanical Design*, 2013, 135: 103–113.
- [19] Dartigues C, Ghodous P, Gruninger M, et al. CAD/CAPP integration using feature ontology[J]. *Concurrent Engineering*, 2007, 15(2): 237–249.
- [20] Oh S C, Yee S T. Manufacturing interoperability using a semantic mediation[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2008, 39(1): 199–210.
- [21] Lin H K, Harding J A, Shahbaz M. Manufacturing system engineering ontology for semantic interoperability across extended project teams[J]. *International Journal of Production Research*, 2004, 42(24): 5099–5118.
- [22] Cho J, Han S, Kim H. Meta-ontology for automated information integration of parts libraries[J]. *Computer-Aided Design*, 2006, 38(7): 713–725.
- [23] Bellatreche L, Dung N X, Pierra G, et al. Contribution of ontology-based data modeling to automatic integration of electronic catalogues within engineering databases[J]. *Computers in Industry*, 2006, 57(8–9): 711–724.
- [24] Ye Y, Yang D, Jiang Z B, et al. An ontology-based architecture for implementing semantic integration of supply chain management[J]. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2008, 21(1): 1–18.
- [25] Zhao W, Liu J K. OWL/SWRL representation methodology for EXPRESS-driven product information model: Part I. Implementation methodology[J]. *Computers in Industry*, 2008, 59(6): 580–589.
- [26] Palmer C, Urwin E N, Pinazo-Sánchez J M, et al. Reference ontologies to support the development of global production network systems [J]. *Computers in Industry*, 2016, 77(Suppl C): 48–60.
- [27] Lim S C J, Liu Y, Lee W B. A methodology for building a semantically annotated multi-faceted ontology for product family modelling[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2011, 25(2): 147–161.
- [28] Maedche A, Volz R. The ontology extraction and maintenance framework text-to-onto[C]. *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Data Mining*, 2001.
- [29] Navigli R. Consistent validation of manual and automatic sense annotations with the aid of semantic graphs[J]. *Computational Linguistics*, 2006, 32(2): 273–281.
- [30] Draicchio F, Gangemi A, Presutti V, et al. FRED: From Natural Language Text to RDF and OWL in One Click[M]. Hutchison D, Kanade T, Kittler J, et al. *The Semantic Web: ESWC 2013. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013: 263–267.
- [31] Kang Y B, Delir Haghighi P, Burstein F. CFinder: An intelligent key concept finder from text for ontology development[J]. *Expert Systems with Applications*, 2014, 41(9): 4494–4504.
- [32] Choi N, Song I Y, Han H. A survey on ontology mapping[J]. *SIGMOD Rec*, 2006, 35(3): 34–41.
- [33] Pintel C, Binnig C, Jiménez-Ruiz E, et al. RODI: A benchmark for automatic mapping generation in relational-to-ontology data integration[C]. Gandon F, Sabou M, Sack H, et al. *The semantic web: Latest advances and new domains: Proceedings of 12th European Semantic Web Conference, ESWC 2015. Portoroz, 2015*: 21–37.
- [34] Yan W, Liu H, Zanni-Merk C, et al. IngeniousTRIZ: An automatic ontology-based system for solving inventive problems[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2015, 75(Suppl C): 52–65.
- [35] Vegetti M, Roldán L, Gonnet S, et al. A framework to represent, capture, and trace ontology development processes[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2016, 56(Suppl C): 230–249.
- [36] Balakirsky S. Ontology based action planning and verification for agile manufacturing[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2015, 33(Suppl C): 21–28.
- [37] Hong H, Yin Y. Ontology-based conceptual design for ultra-precision hydrostatic guideways with human-machine interaction[J]. *Journal of Industrial Information Integration*, 2016, 2(Suppl C): 11–18.
- [38] Horridge M, Noy N F, Musen M A, et al. WebProtégé: A collaborative Web-based platform for editing biomedical ontologies[J]. *Bioinformatics*, 2014, 30(16): 2384–2385.
- [39] Ghidini C, Rospocher M, Serafini L. MoKi: A wiki-based conceptual modeling tool[C]. *Proceedings of the 2010 International Semantic Web Conference on Posters & Demonstrations Track Volume 658, 2010*: 77–80.
- [40] Schober D, Tudose I, Svatek V, et al. OntoCheck: Verifying ontology naming conventions and metadata completeness in Protégé 4[J]. *Journal of Biomedical Semantics*, 2012, 3(2): S4.
- [41] María P-V, Asunción G-P, Mari Carmen S-F. OOPS! (Ontology pitfall scanner!): An on-line tool for ontology evaluation[J]. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, 2014, 10(2): 7–34.
- [42] Lohmann S, Negru S, Bold D et al. The ProtégéVOWL Plugin: Ontology visualization for everyone[M]. Presutti V, Blomqvist E, Troncy R. *Lecture Notes in Computer Science*. Greece: Springer International Publishing, 2014, 8798: 395–400.
- [43] Lohmann S, Link V, Marbach, et al. WebVOWL: Web-based visualization of ontologies[M]. *Knowledge engineering and knowledge management: EKAW 2014 Satellite Events, VISUAL, EKM1, and ARCOE-Logic*, Cham: Springer, 2014: 154–158.
- [44] Lim S C J, Loh H T, Liu Y. User interface design for interactive product family analysis and variant derivation[C]. *Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference(IDETC/CIE)*, Montreal, 2010, 1–10.

A review of application of ontology in design information and knowledge management

LIU Ying¹, LIM Soon Chong Johnson², CHEN Yong³

1. School of Engineering, Cardiff University, Cardiff CF24 3AA, United Kingdom

2. Department of Engineering Education, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia 86400, Malaysia

3. School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China

Abstract With the advent and rapid development of the computer-aided design, the process planning and the manufacturing in design, the ever-increasing amount of the design information poses both challenges and opportunities for an efficient information and knowledge management. The ontology provides a feasible, effective and rich information modeling concept. This paper reviewed the ontology applications in the design engineering. The applications of the ontology fall generally into five related research issues and future research developments are extensively discussed.

Keywords ontology; design engineering; design information; information management; knowledge management

(责任编辑 祝叶华)