

The Study on Intelligent Checkup Methods for PCB Processing Data

Shaorong Feng

School of Information Science and Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China

shaorong@xmu.edu.cn

Abstract. At present, electronic products are developing toward the small-volume, multi-functional, high-density trends, led to a more complex PCB board design, therefore, the automatic checkup method for Processability, manufacturability and assembly of design files becomes more and more important. The existing checkup tools for design files have some shortages, such as too few objects examined, inconvenience, poor flexibility and scalability, etc. That affected the processing quality and efficiency of PCB board. In this paper, predicate logic method is used to express the checkup rules of PCB board, and a new checkup model is posed. It uses checkup model presented in this paper to reason, finally gives the checkup results, effectively solves the existing checkup tools' few objects examined, poor interaction, etc. Experimental results show that, the knowledge representation method presented in this paper is simple, and the checkup model works well, has high automation, good interactive, strong flexibility, adaptability and scalability.

Keywords: PCB; Knowledge representation; Predicate logic; Automatic checkup

PCB 数据处理的智能审查方法研究

冯少荣

厦门大学 信息科学与技术学院, 福建 厦门 361005

摘要: 目前电子产品朝着小体积、多功能、高密度等方向发展, 使 PCB 板的设计越来越复杂, 因而对设计文件可加工性、可制造性及可装配性的自动审查也变得越来越重要。目前已有的设计数据审核工具存在着或审核对象太少, 或使用不便、适应性和可扩充性差等诸多不足, 影响了 PCB 板的加工质量和效率。本文采用谓词逻辑法进行 PCB 板审查规则的知识表示, 给出了审查推理模型, 并运用该模型进行自动审查, 最终给出可视化的审查结果, 有效解决了已有审核工具中审查对象少, 交互性差等不足。实验结果表明, 本文提出的知识表示方法简单, 审查推理模型自动化程度高、可交互性好, 灵活性、自适应性和可扩充性强。

关键字: PCB; 知识表示; 谓词逻辑; 自动审查

中图分类号: TP182 文献标识码: A

引言

PCB^[1]是印制电路板(即 Printed Circuit Board)的简称, 是电子产品的关键电子互连件。现代电子产品不断向小型化、多功能、高密度、高可靠性的方向发展, 导致 PCB 板的设计越来越复杂。目前, 许多流行的 EDA 软件, 虽然设计功能强大, 但对设计结果数据的可加工性、可制造性和可装配型性审查功能很弱。因此, 深入开展对设计制造文件中加工数据的自动审查技术研究, 对于减轻设计人员负担, 提高设计效率, 加快电子产品研产周期, 全面提高生产效率都有着极为重要的意义, 已经成为 EDA 领域的重要研究热点。

目前对 PCB 板可加工性审查的软件较少, 只有 CAM350、PCBPartner 系统等极少数软件具备此功能, 且只能对 GERBER 文件, *.pcb 文件进行审核。CAM350 只具备半自动审核功能, 且只能审核线宽、线距等

少数几项数据, 审查对象相对较少; PCB Partner 虽可以自动审查, 但操作人员必须上传 GERBER 文件压缩包, 实施封闭式审查, 用户无法适时地进行人机交互操作, 且审查漏检率高、灵活性差、无法实现审查内容的扩充和变更。

针对以上问题, 本文通过对审查规则的模型化、知识化、参数化表示, 建立可再造、可扩充、可推理、自适应的审查机制, 较好地解决了 PCB 板可加工性、可制造性审查项目少、漏检率高、灵活性差、无法扩充、变更及交互性差等问题。实验结果表明, 此方法技术可行、效果良好。

1 审查规则的知识模型表示

人工智能的重要核心问题是知识表示, 因为它是知识获取的基础, 又是推理的前提。知识表示方法主要有: 产生式表示法、框架表示法、面向对象表示法、谓词逻辑表示法、语义网络表示法^[2-3]等。表 1 所示为常用的五种知识表示方法, 它们都有各自的优点, 但由于对 PCB 数据的审查必须符合“精确”, “灵活”, “通用”, “严格”等要求, 且本文提出的推理模型需要采用的知识模型表示方法有严格的推理特点。鉴于以上考虑, 本文采用方便简单的谓词逻辑表示法来表示审查规则。

表 1 知识表示方法

知识表示方法	优 点
产生式表示法	自然、灵活、通用性强; 有利于启发性知识的表达:
框架表示法	由浅入深地表达事物细节; 有继承性。
面向对象表示法	能较好地描述事物的结构模型, 将知识对象进行封装便于知识库的维护和修正。
逻辑谓词表示法	简单、精确、灵活、模块性好, 推理方法严格、完备、通用
语义网络表示法	直接、自然; 能体现联想思维。

1.1 谓词逻辑表示法

谓词逻辑是一种形式语言, 也是目前为止能够表达人类思维活动规律的一种最精确的语言, 它与人们的自然语言比较接近, 又可方便的存储到计算机中作精确的处理。在谓词逻辑中, 简单命题可分解为个体、谓词和量词三部分。谓词逻辑的表示通常包括以下几个步骤^[4]:

(1)分解一个简单命题为个体词和谓词两部分, 并用 a、b、c 等表示个体常量, 用小写英文字母 x、y、z 等表示个体变量。用大写英文字母 P、Q、R 等表示谓词常量, 用 $P(x, y)$, $Q(x)$, $R(x, a)$ 等表示谓词变量。

(2)找出简单命题中所包含的量词, 并用“ $\forall$ ”表示“任意的”等。并用“ $\exists$ ”表示“至少有一个”等。

(3)运用连接符号“ $\neg$, $\wedge$, $\vee$, $\rightarrow$, $\leftrightarrow$ ”将命题中个体词与谓词、多个个体词间、或谓词间的关系连接起来。

使用谓词逻辑法表示知识, 需将以自然语言描述的知识, 通过引入谓词、函数加以形式描述, 获得有关的谓词公式, 该公式构成一个集合, 称为知识库, 从而便于进行问题求解。

下面的公式都是谓词逻辑公式:

$$\forall x(P(x, y) \rightarrow R(x))$$

$$P(x, y) \wedge P(y, x) \rightarrow Q(x, x) \wedge Q(y, y)$$

$$\exists x \forall y(E(x, y) \wedge E(y, z))$$

1.2 审查规则的知识表示

审查规则是对电子电路设计文件进行可加工性、可制造性、可装配性审查的依据, 一般由权威部门发

布，也可以由设计师根据产品性能要求自己设定，从而保证印制电路板的设计、制造、装配成功。本文使用的审查规则来源于电子行业标准^[5]和中华人民共和国国家标准^[6]，具有一定的权威性。

本文以下列 PCB 板加工数据的审查规则为例进行知识表示：

规则 1 过孔孔径必须大于 0；

规则 2 丝印字符之间间距设计为大于等于 0.127mm；

规则 3 丝印坐标不能覆盖在通孔上；

规则 4 板框第一个点坐标与最后一个点坐标相同；

用谓词逻辑表示法：

设集合 R 为 PCB 数据中主要对象：布线、过孔、焊盘、丝印字符、板框，分别用 A、B、C、D、E 来表示 5 类对象的属性。即 $R=\{A, B, C, D, E\}$ 。

规则 1 $\forall x(P(x) \rightarrow >(x, 0))$ ，其中 $x \in B$ ；

$P(x)$ 表示“x 是过孔的孔径”， $>(x, 0)$ 表示“x 大于 0”；

规则 2 $\forall x \forall y \exists z(P(x) \wedge P(y) \wedge Q(x, y, z) \rightarrow \geq(z, 0.127))$ ，其中 $x, y, z \in D$ ；

$P(x)$ 表示“x 是丝印字符”， $P(y)$ 表示“y 是丝印字符”， $Q(x, y, z)$ 表示“z 是 x 字符与 y 字符之间的间距”， $\geq(z, 0.127)$ 表示“z 大于等于 0.127mm”；

规则 3
$$\left. \begin{array}{l} \forall x \exists w \exists h \exists x_1 \exists y_1 (P(x) \wedge W(x, w) \wedge H(x, h) \wedge L(x, x_1, y_1)) \\ \forall y \exists r (Q(y) \wedge R_0(y, r)) \\ \forall z \exists x_0 \exists y_0 (R(z, x, y) \wedge X(z, x_0) \wedge Y(z, y_0)) \end{array} \right\} \rightarrow \neg (<(x_0, r+w/2) \wedge <(y_0, r+h/2))$$

其中， $x, w, h, x_1, y_1 \in D$ ； $y, r \in B$ ；

$P(x)$ 表示“x 是丝印字符”， $W(x, w)$ 表示“w 是 x 的宽度”， $H(x, h)$ 表示“h 是 x 的高度”； $L(x, x_1, y_1)$ 表示“ x_1, y_1 是 x 的左下角坐标”； $Q(y)$ 表示“y 是通孔”， $R_0(y, r)$ 表示“r 是 y 的半径”； $R(z, x, y)$ 表示“z 是 x 与 y 的距离”， $X(z, x_0)$ 表示“z 在 x 轴上的值为 x_0 ”， $Y(z, y_0)$ 表示“z 在 y 轴上的值为 y_0 ”； $\neg (<(x_0, r+w/2) \wedge <(y_0, r+h/2))$ 表示“ x_0 大于等于通孔半径与字符半宽之和或 y_0 大于等于通孔半径与字符半长之和”；

规则 4 $\forall x \exists y \exists z(P(x) \wedge Q(x, y) \wedge R(x, z) \rightarrow =(y, z))$ ，其中 $x, y, z \in E$ ；

$P(x)$ 表示“x 是板宽”， $Q(x, y)$ 表示“y 是 x 上第一个值”， $R(x, z)$ 表示“z 是 x 上最后一个值”， $=(y, z)$ 表示“y 与 z 相同”；

本文采用关系数据库进行知识的存储，同时包括演绎推理功能，如规则 3 的演绎推理：

$\neg (<(x_0, r+w/2) \wedge <(y_0, r+h/2)) \leftrightarrow (\geq(x_0, r+w/2) \vee \geq(y_0, r+h/2))$

即： x_0 与 y_0 都小于通孔半径与丝印字符矩形半宽或半长之和 $\Rightarrow x_0$ 大于等于通孔半径与字符半宽之和或 y_0 大于等于通孔半径与字符半长之和。反之亦然。

1.3 知识的应用对象算法

以规则 3 为例，假设已知一个宽度为 w，高度为 h，左下角起始坐标为 (x_1, y_1) 的丝印字符。另外又已知一个半径为 r，圆心坐标为 (x_2, y_2) 的通孔。问题是求该丝印字符是否覆盖在通孔之上。此问题可以更形式化地描述为：求该丝印字符与通孔的中心距离，若该距离在 X 和 Y 轴上的值 x_0, y_0 都满足 $|x_0| < (w/2 + r)$ 和 $|y_0| < (h/2 + r)$ ，则丝印字符覆盖在了通孔之上，反之，则没有。

如图 1 所示，丝印字符串“ABC”，其宽 w，高 h，左下角坐标 (x_1, y_1) 。通孔对象半径 r，圆心坐标 (x_2, y_2) 。

丝印字符矩形与通孔的重心距离在 X 轴上的值为 x_0 ，在 Y 轴上的值为 y_0 。在满足规则 3 前提条件的情况下，该模型进行数学运算， x_0 与 (通孔半径与字符半宽之和) $w/2+r$ 作比较， y_0 与 (通孔半径与字符半长之和) $h/2+r$ 作比较。

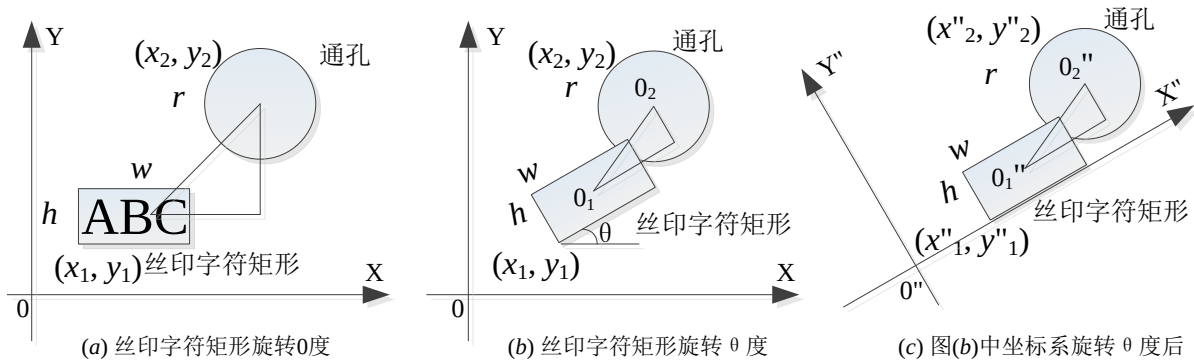


图 1 知识的应用对象算法

本文分(1), (2)两种情况，结合图 1 中的(a)、(b)图，对规则 3 进行数学建模^[7]。

(1) 当字符串矩形的边分别与 X,Y 轴平行时，如图 1(a)所示。

不难求出 $x_0=|(x_1+w/2)-x_2|$ 和 $y_0=|(y_1+h/2)-y_2|$

(2) 当丝印字符串矩形的边与坐标轴不平时，如图(b)所示。

假设丝印字符串矩形的旋转角度为 θ ，在坐标系 OXY 中的值如图 1(b)所示，将 OXY 坐标系绕原点 O 旋转 θ 角度后的坐标系为 O''X''Y''，如图 1(c)所示。旋转后丝印字符矩形的左下角坐标为 (x''_1, y''_1) ，通孔的圆心为 (x''_2, y''_2) 。

O''_1, O''_2 分别为丝印字符矩形和通孔的重心。则有如下关系：

$$\begin{cases} x''_1 = x_1 \cos \theta + y_1 \sin \theta \\ y''_1 = -x_1 \sin \theta + y_1 \cos \theta \end{cases} \quad \begin{cases} x''_2 = x_2 \cos \theta + y_2 \sin \theta \\ y''_2 = -x_2 \sin \theta + y_2 \cos \theta \end{cases}$$

$$x_0 = |(x''_1 + w/2) - x''_2| = |(x_1 \cos \theta + y_1 \sin \theta + w/2) - (x_2 \cos \theta + y_2 \sin \theta)|$$

$$y_0 = |(y''_1 + h/2) - y''_2| = |(-x_1 \sin \theta + y_1 \cos \theta + h/2) - (-x_2 \sin \theta + y_2 \cos \theta)|$$

当 $\theta=0$ 时，问题转化为(a)的情况。

由(1), (2)两种情况分析可知，只需判断 $x_0 < (w/2 + r)$ ， $y_0 < (h/2 + r)$ ，若二者同为真，则丝印字符覆盖在了通孔上；反之，则丝印字符没有覆盖在通孔上。

2 审查的推理模型

知识的应用和推理过程是一个搜索、判定和演绎的过程。本文提出的审查推理模型以知识库为基础，采用深度优先搜索算法搜索匹配知识模型，运用对象映射机制完成判定实例的生成，根据加工要求实现加工设计数据审查。推理算法模型如图 2 所示。

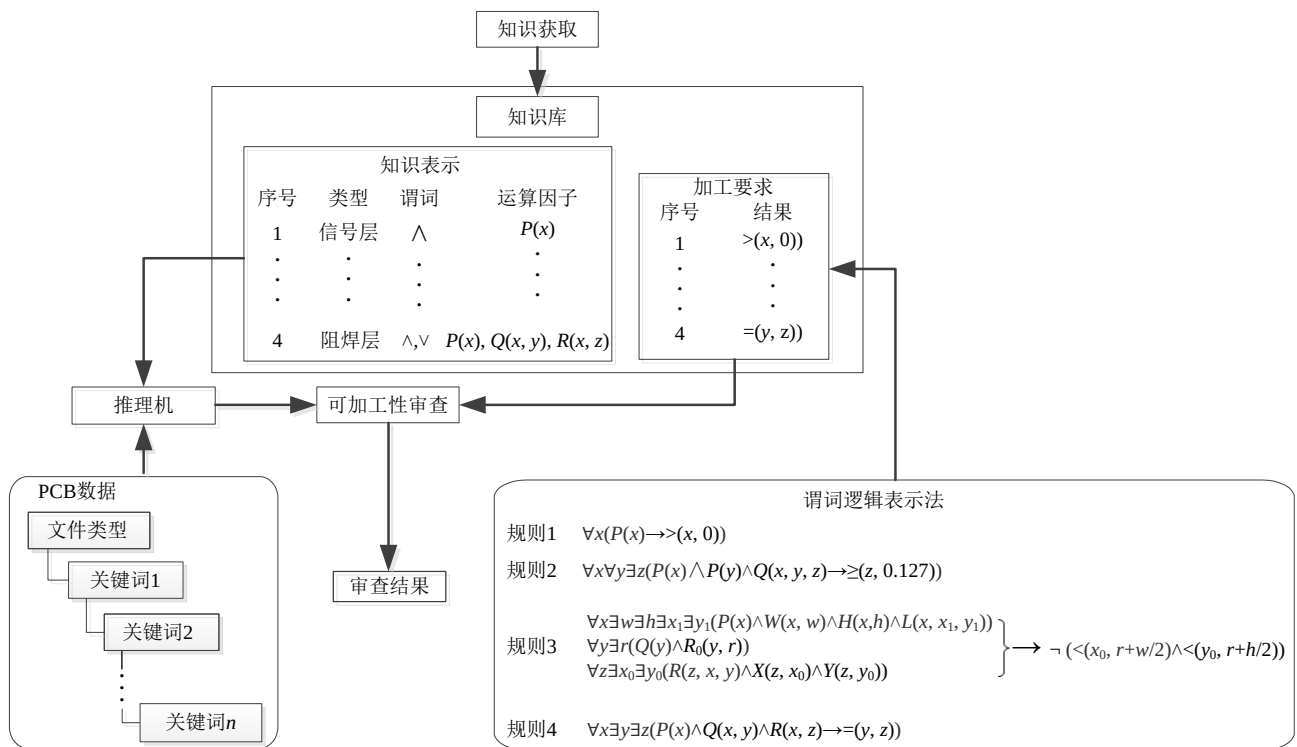


图2 推理模型

如图2所示，该审查推理模型中所获取的审查规则，用谓词逻辑法表示，并将其分为“知识表示”库和“加工要求”库两部分分别存储在该知识库中。读取印制电路板数据，根据其数据类型和“知识表示”库中运算因子的表示法，从印制电路板文件提取出运算对象，并按“知识表示”库的谓词进行逻辑运算，经过推理运算，其结果与“加工要求”库中“结果”进行比较，以对其进行可加工性进行审查，最终以“警告”，“错误”的形式给出审查结果。

本文采用谓词逻辑表示法对知识进行表示^[8-10]，方法简单、精确、灵活、模块性好，且推理方法严格、完备、通用，便于审查。知识库是审查PCB设计数据的核心，良好的知识库设计和推理模型能极大地提高审查的智能程度，因此知识库具有良好的知识结构，才便于搜索推理等。本文提出的推理模型方便了知识向知识库中的添加、修改、删除等操作，知识库的扩充性和适应性良好。

3 实验验证

在PCB电子组装行业中，GERBER文件是基于块处理命令的，可直接进行制造的加工数据文件，文件格式通用、应用广泛。其中，NCDrill文件作为各层Gerber线路连接时的参考依据。

由于GERBER文件主要由信号层、丝印层、阻焊层、助焊层四类文件组成，而各层文件内容结构大致相同，所以本文以VC++及SQL Server 2000为开发平台，以GERBER文件为实验对象，对一个中等复杂度的3层电路板进行自动审查，实验结果如图3所示。

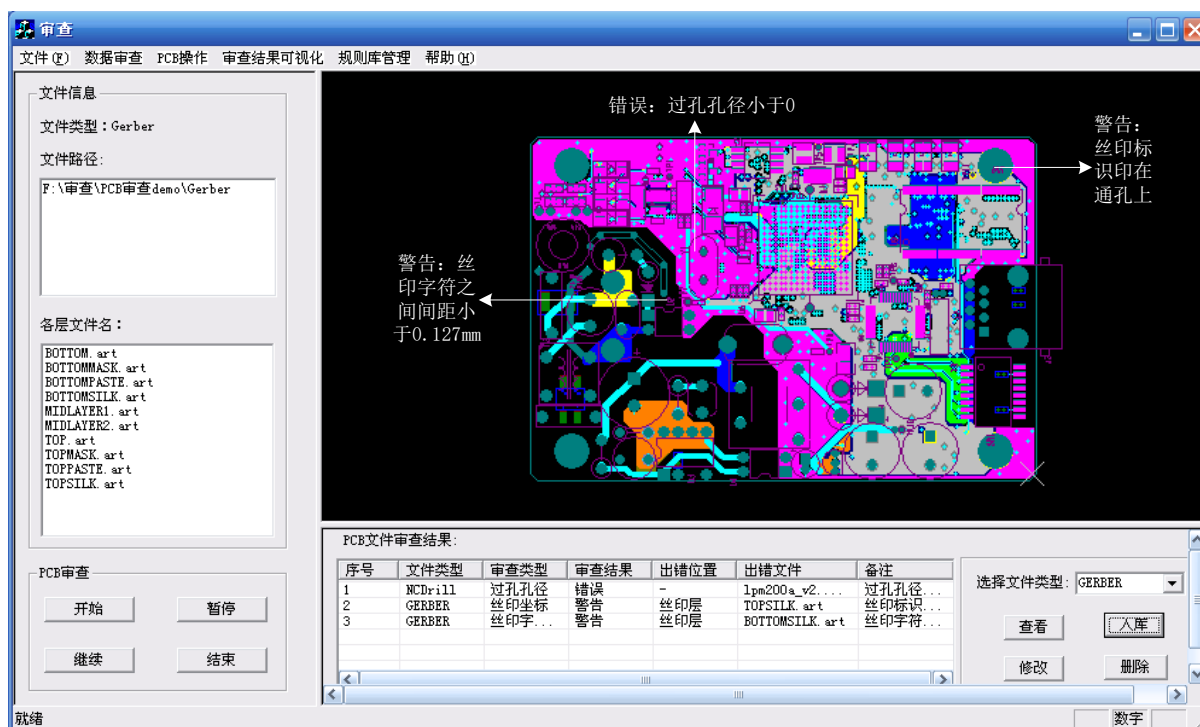


图 3 审查结果示意图

PCB 审查过程中, 用户可以进行人工干预, 也可以在知识库的指导下自动进行, 最终以可视化方式给出审查结果, 并详细列出审查报告单, 以方便用户查看打印。本文提出的知识表示法和推理模型不但适用于对 GERBER 文件, *.pcb 文件的审查, 还适用于对 PowerPCB 的*.asc 及 VeriBest 的*.prj 等多种 EDA 文件的审查。

4 结论

本文采用谓词逻辑法, 进行 PCB 板审查规则的知识表示并给出知识的应用对象算法描述; 提出了基于知识库和搜索匹配、对象映射的审查推理模型, 并加以实现。实验结果表明, 该方法审查能力强、灵活有效, 自适应性、扩充性好, 较好地克服了 PCB Partner 审查软件可交互性差、难以扩充的不足, 以及 CAM350 软件的审查项目太少等弊端。但由于审查知识的获取和权威鉴定仍受限于人工经验, 更多审查规则的知识表示方法和演绎推理机制仍有待进一步研究。

References

- [1] Zang Ming-Xiang, Wang Tian-Tian, Huang Zhan-Wu. The automatic checkup method for PCB processing data based on Knowledge[C]. Proceedings of the 2010 The 2nd International Conference on Future Computer and Communication, ICFCC 2010, v1, p V1538-V1542.
- [2] Li Jin-Kun. Knowledge Work Process Representation Method Research[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2008, 37(5): 769-772. (Chinese)
- [3] Dong Jun, Wang Suo-ping, Xiong Fan-lun. Study on domain knowledge reusing methods based on ontology. Application Research of Computers[J], 2009,26(12):4546-4549, 4561. (Chinese)
- [4] Xu jie-qing, Zhu huai-hong, Song fang-min Writing. Discrete Mathematics and Its Application in Computer[M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2008. (Chinese)
- [5] Electronic Industry Standards of the People's Republic of China: SJ20776-2000 Printed Circuit Layout Data Format Gerber[S]. (Chinese)
- [6] National Standards of the People's Republic of China: GB/T 4677-2002 Test methods of printed

boards[S]. (Chinese)

- [7] Hai Zhuge,Xiang-Feng Luo. Knowledge Map:Mathematical Model and Dynamic Behaviors[J]. JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE AND TECHNOLOGY,2005,20(3): 289-295.
- [8] TANG Zhi-jie,YANG Bao-an,ZHANG Keqing. Design of Multi—attribute Knowledge Base Based on Hybrid Knowledge Representation[J]. Journal of Dong hua University (English Edition), 2006, 23(6): 62-66.
- [9] Wang Zuoxu, Zheng Pai, Lee Ching-Hung, Chen Chun-Hsien. Knowledge representation and reasoning methods in the concept development of product design: A state-of-the-art review[J]. Advances in Transdisciplinary Engineering, 2018, v7, p 478-487.
- [10]Warren Paul, Mulholland Paul, Collins Trevor, Motta Enrico. Improving comprehension of knowledge representation languages: A case study with Description Logics[J]. International Journal of Human Computer Studies, February 2019, v 122, p 145-167.