

性能传导知识挖掘配置设计系统^{*}

陈尉刚,王 欢,赵燕伟^{*},洪欢欢

(浙江工业大学 机械工程学院,浙江 杭州 310014)

摘要:为实现计算机支持下产品的快速响应设计,提高产品开发效率,开发出了一种性能传导知识挖掘配置设计系统。该系统主要分为产品需求实例管理、产品配置设计过程管理、产品配置设计知识管理、产品配置方案管理 4 个功能模块,通过将客户的模糊性能需求转化为需求信息物元,在实例库中进行相似实例检索,构建关联函数,对检索到的不满足要求的最相似实例进行了拓展分析和可拓变换,消除了目标实例和条件实例之间的矛盾。通过设定阈值提取传导特征和传导对象,比较了相似实例变换前后性能特征数据获取主动变换对于传导特征的影响程度,通过可拓分类获取了传导变换引起的质变、量变知识。最后,以大型螺杆空压机为例,验证了该系统的有效性。研究表明,通过挖掘配置设计过程中的传导知识,对于提高产品配置准确性和产品开发效率有重要意义。

关键词:快速响应设计;配置设计系统;传导知识挖掘;实例推理;可拓变换

中图分类号:TH122;TH164

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2013)07-0802-05

Product configuration design system of conductive knowledge mining based on performance

CHEN Wei-gang, WANG Huan, ZHAO Yan-wei, HONG Huan-huan

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to achieve rapid response design of the products supported by the computer and improve efficiency of product development, a product configuration design system of conductive knowledge mining driven by performance was developed. The system contains product requirement management module, product configuration design process management module, product configuration design knowledge management module and evaluation for product configuration management module. Customers' fuzzy requirements for performance were transformed to matter-element of information about requirements, the most similar case was retrieved in the case base. correlation function was established to analysis if the most similar case meets requirements, if not, it needs to extensive analysis and extensive transformation to resolve conflict between the target case and condition case. Conductive characteristic and conductive objects was gained by defining threshold, the impact of active transformation to conductive characteristics was gotten through comparing data about performance characteristic before and after transformation, and the quality change and quantity change caused by conductive transformation was also gotten by extension classification. Finally, a large screw air compressor was used as the example to validate the system. The results indicate that it is meaningful for improving accuracy of product performance and efficiency of product development through mining conductive knowledge.

Key words: rapid response design; configuration design system; conductive knowledge mining; case reasoning; extension transformation

0 引 言

在科学技术飞速发展与经济基础日益提高的今

天,国际化的竞争愈趋激烈,制造环境发生根本性变化,产品需求进入多样化的新阶段,以满足客户的个性化需求为中心、需求驱动企业产品设计成为企业活动

收稿日期:2012-11-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51275477)

作者简介:陈尉刚(1989-),男,浙江杭州人,主要从事可拓工程方面的研究. E-mail:944307282@qq.com

通信联系人:赵燕伟,女,教授,博士生导师. E-mail:zyw@zjut.edu.cn

的核心与出发点,也是现代企业生存与发展的基础。

产品配置是根据客户的需求,在建立各零部件集合与相互约束关系的配置模板基础上,并通过合理地匹配与组合,生成产品设计物料清单(Bill of material, BOM),实现满足客户需求的产品设计过程^[1]。产品配置设计经历了3个阶段的发展。目前配置方法主要有:基于规则的配置设计方法^[2]、基于约束的配置设计方法^[3-4]、基于可拓的配置设计方法^[5-6]、基于本体的配置设计方法^[7-8]、基于结构的产品配置方法^[9-10]、基于实例的配置设计方法^[11]等。

产品配置设计系统则是在计算机技术快速发展和普及以及企业信息化条件下催生的产物。目前根据不同的原理开发的产品配置设计系统种类繁多,黄钰^[12]提出基于模糊度量的质量功能配置系统,利用质量功能配置把客户对产品的需求进行多层次的演绎分析,转化为产品的设计要求、零部件特性、工艺要求、生产要求,从而指导产品的设计;林相华^[13]提出基于配置模板的快速配置设计系统,它通过基于功能结构单元的产品配置模块,快速响应客户需求,获得最接近客户需求的配置结果。谭建荣^[14]提出支持大批量定制的产品配置设计系统,它根据机械产品结构的复杂性,引入配置设计知识的混合表达方法来适应不同产品设计类型的要求。

然而对于复杂的机械产品,配置知识不易获取,为此,本研究引入一种性能传导知识挖掘配置设计系统,利用可拓数据挖掘^[15]技术将配置设计过程中的设计知识以及设计经验变为有用的配置规则,帮助设计人员在配置设计过程中做出有利的决策,避免新矛盾的产生,从而大大提高产品配置的效率 and 准确性。

1 系统模块及动能

1.1 系统概述

该系统是运用 Microsoft Visual C++6.0在 Solidworks 平台上二次开发的一个系统,通过建立产品实例数据库,对客户的模糊性能需求建立物元模型,在实例库中进行相似实例检索,若不满足性能需求,通过可拓变换消除矛盾,同时通过可拓分类获取传导变换知识,最后生成配置设计方案。系统界面参照 Windows XP 界面风格进行设计,有标题栏和菜单栏,用户通过菜单栏、鼠标以及手动输入就可以完成对整个软件的操作。

1.2 主要模块及其功能

系统主要包括以下功能模块:产品需求实例管理模块、产品配置设计过程管理模块、产品配置设计知识管理模块、产品配置方案管理模块。系统功能模块划

分图如图1所示。

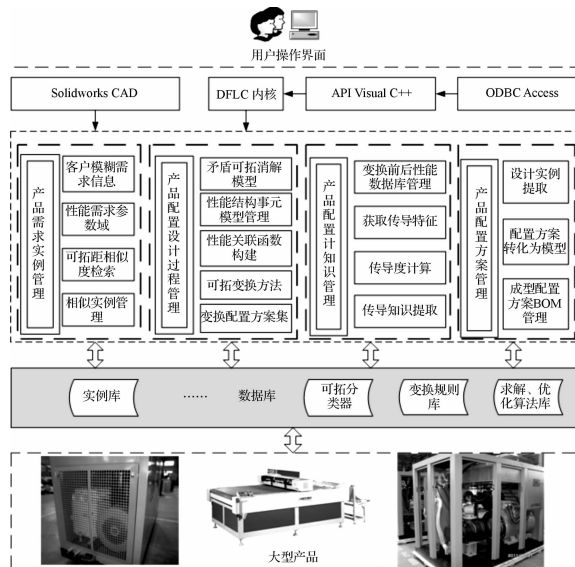


图1 系统功能模块划分图

1.2.1 产品需求实例管理模块

由于客户在购买产品时对产品的需求描述中通常包含确定属性和模糊属性,计算机无法处理其中的模糊信息,需要将模糊信息用一个参数域来表示,该系统中采用三角模糊数来表示:

$$TF = (v^l, v^m, v^r), v^l \leq v^m \leq v^r \quad (1)$$

通过定义区间置信度系数 α ,三角模糊数可表示为:

$$\forall \alpha \in [0, 1],$$

$$TF_\alpha = [v_\alpha^l, v_\alpha^r] = [(v^m - v^l)\alpha + v^l, -(v^r - v^m)\alpha + v^r] \quad (2)$$

依据可拓学的物元概念描述,建立对象 O_m 、性能特征 c_m 以及量值 $[v_\alpha^l, v_\alpha^r]$ 的客户需求物元模型为:

$$M = \begin{bmatrix} O_m, & c_{m1}, & [v_{\alpha 1}^l, v_{\alpha 1}^r] \\ & c_{m2}, & [v_{\alpha 2}^l, v_{\alpha 2}^r] \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{mn}, & [v_{\alpha n}^l, v_{\alpha n}^r] \end{bmatrix} = (O_m, C_m, R_\alpha) \quad (3)$$

将性能需求数据和实例库性能数据分别作无量纲处理后为: $V = [v_{\alpha 1}^l, v_{\alpha 2}^r]$ 和 $Y = [y_1, y_2]$, 其中 $V \subseteq Y$, 计算出客户需求的产品性能与构建好的产品实例库中的产品之间的相似度,相似度计算公式为:

$$\text{sim}(V, Y) = 1 - |d(V, Y)| \quad (4)$$

其中:

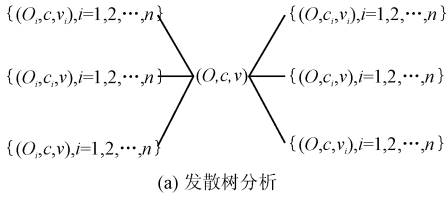
$$d(V, Y) = \rho(V, Y) = \left| \frac{y_1 + y_2}{2} - \frac{v_{\alpha 1}^l + v_{\alpha 1}^r}{2} \right| - \left| \frac{y_2 - y_1}{2} - \frac{v_{\alpha 1}^r - v_{\alpha 1}^l}{2} \right| \quad (5)$$

本研究根据计算得到的相似度选出与客户性能需求最接近的产品实例,即相似度最大的产品实例。

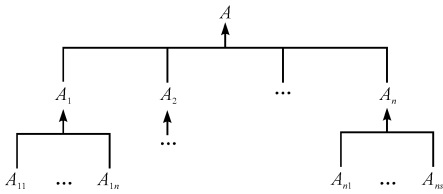
1.2.2 产品配置设计过程管理模块

若检索到的最相似的实例满足客户需求,则配置

结束;若不满足,表示性能需求目标实例 G 与性能条件实例 L 存在冲突,则需进行产品配置设计。根据可拓学原理,本研究首先构建矛盾冲突问题模型 $P = G \cdot L$ 。然后构建关联函数 $K(P)$,根据关联函数值判断性能是否满足客户要求,对于不满足的性能通过发散树分析方法和蕴含系分析方法进行事元拓展分析,发散树分析模型和蕴含系分析模型如图 2 所示。



(a) 发散树分析



(b) 蕴含系分析

图 2 发散树分析和蕴含系分析

本研究通过事元拓展分析获得可以通过可拓变换最底层的配置基元,来满足性能特征的需求。变换主要包括变换配置基元对象、基本变换算子生成、变换方向控制。

O_T 是实施可拓变换的名称,则:

$O_T \in \{ \text{扩大, 缩小, 增加, 删减, 置换, 复制, 分解, 组合} \dots \}$

可拓变换可表示为:

$$T = \begin{bmatrix} O_T, & c_{T1}, & v_{T1} \\ c_{T2}, & v_{T2} \\ c_{T3}, & v_{T3} \\ c_{T4}, & v_{T4} \\ c_{T5}, & v_{T5} \\ c_{T6}, & v_{T6} \\ c_{T7}, & v_{T7} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{变换,} & \text{支配对象,} & v_{T1} \\ \text{接受对象,} & v_{T2} \\ \text{变换结果,} & v_{T3} \\ \text{施动对象,} & v_{T4} \\ \text{方法,} & v_{T5} \\ \text{工具,} & v_{T6} \\ \text{时间,} & v_{T7} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

本研究通过可拓变换消解需求与实例之间的矛盾,从而生成产品配置方案集。产品性能需求与相似实例矛盾消减流程如图 3 所示。

1.2.3 产品配置设计知识管理模块

目前对于配置性能需求的不满足,研究者都是凭经验对产品结构进行一定的改型,然后再进行测试,以实现某一或者某几个性能的满足,这将会导致产品的开发周期变长,无法满足客户的快速需求。且没有注意对于变换后数据的运用和挖掘,包括实例的其他性

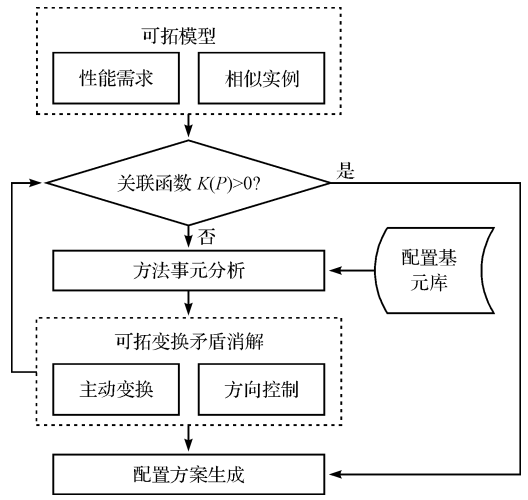


图 3 产品性能需求与相似实例矛盾消减流程

能的变化情况,更没有注意数据之间的相互影响。传导知识挖掘是带有矛盾前提的数据挖掘方法,该方法通过挖掘变换前、后性能结构的影响关系,帮助设计人员在需求驱动的配置设计过程中做出有利的决策,避免新的矛盾问题的产生。

由于机械产品,无论是产品结构之间、产品性能之间、性能结构之间总存在一定相关性,对产品实例结构的变换,往往会引起产品实例其他结构或者性能的传导变换。为判断哪些对象、特征发生了传导变换,需要进行定量描述。针对具体产品实例对象和特征数据,往往会出现变换前后对应量值的变化,有些对象特征量值变换前后的差值很小。为了更准确地描述什么是传导对象和传导特征,通常给定阈值 $\delta > 0$,当发生变换的对象或者特征的量值差(传导效应) $\Delta v_{i_i} = v'_{i_i} - v_{i_i}$ 的绝对值满足 $|\Delta v_{i_i}| = |v'_{i_i} - v_{i_i}| > \delta$ 的时候,则认为相应的对象或特征为传导对象或传导特征。

无论是产品实例结构对象变换,还是产品实例性能特征的变换,这些主动变换的传导作用对传导对象或者传导特征究竟有多大的影响,需要通过传导度进行定量描述。

传导度 γ 即可表达为:

$$\gamma = \left| \frac{u'_j - u_j}{v'_i - v_i} \right| \quad (6)$$

传导度表达了主动变换量 ($\Delta v_1 = v'_i - v_i$) 与传导效应 ($\Delta v_2 = \mu'_j - \mu_j$) 的关系,并通过设定传导度值,来提取传导知识。传导度的大小表示在主动变换实施过程后引起的可传导性的程度,可见传导度越小对于变换实施的可操作性越强及受约束性越小。

本研究用基于传导变换的可拓分类知识表达主动变换引起的传导变换性能特征量值变化的程度,即由于传导变换性能特征发生了量变(正、负量变)或者质

变(正、负质变)。对于产品需求性能集:

$$\bar{E} = \{ (m_j, y, y') \mid m_j \in M_0, y = k_j(m_j), y' = k_j(m_j, T_{l_i}, m_j) \} \quad (7)$$

式中: $k(m_j)$ —需求性能与产品现有实例性能的关联度, T_{l_i} —性能特征事元分析对应的配置基元结构、材料

等属性主动变换, $m_j T_{l_i} - T_{l_i}$ 引起的性能属性变化的传导变换对于论域 M_0 关于性能特征属性变换 T_{l_i} 的可拓配置集。

通过主动变换,对于发生传导的性能属性分类为:

$$\begin{cases} E_+^j(m_j, T_{l_i}) = \{ m_j \mid m_j \in M_0, y = k_j(m_j) \leq 0, y' = k_j(m_j, T_{l_i}, m_j) > 0 \}, \\ E_-^j(m_j, T_{l_i}) = \{ m_j \mid m_j \in M_0, y = k_j(m_j) \geq 0, y' = k_j(m_j, T_{l_i}, m_j) < 0 \}, \\ E_+^j(m_j, T_{l_i}) = \{ m_j \mid m_j \in M_0, y = k_j(m_j) > 0, y' = k_j(m_j, T_{l_i}, m_j) > 0 \}, \\ E_-^j(m_j, T_{l_i}) = \{ m_j \mid m_j \in M_0, y = k_j(m_j) < 0, y' = k_j(m_j, T_{l_i}, m_j) < 0 \}, \\ E_0^j(m_j, T_{l_i}) = \{ m_j \mid m_j \in M_0, y' = k_j(m_j, T_{l_i}, m_j) = 0 \} \end{cases} \quad (8)$$

式中: $E_+^j(m_j, T_{l_i}), E_-^j(m_j, T_{l_i}), E_+^j(m_j, T_{l_i}), E_-^j(m_j, T_{l_i}), E_0^j(m_j, T_{l_i})$ —传导变换引起的性能属性正质变域、负质变域、正量变域、负量变域和拓界。

1.2.4 产品配置设计方案管理模块

产品配置设计方案管理模块的主要作用是当设计人员完成配置设计时,生成全部设计物料信息,将变换后的产品零部件以及产品原有的零部件结构以物料清单形式展现给相关工作人员。同时还可以查看整个产品的三维模型。

2 应用实例

该系统以大型螺杆空压机为应用对象,根据客户对螺杆空压机的性能需求,进行螺杆空压机产品相似实例求解;对于性能不满足需求,建立可拓矛盾模型,并采用性能结构事元映射方法,通过可拓变换进行结构特征变换,实现性能需求矛盾消解;提取相似实例变换前后性能特征数据,获取主动变换对于传导特征影响程度,同时通过可拓分类获取传导变换知识;最后,生成配置设计方案。但由于篇幅所限,下面仅给出几个典型系统界面。

客户需求物元模型的构建如图4所示,客户可以在文本框和下拉框中输入各性能需求描述,而在图中“稳定性”一栏中是一个模糊描述“好”,可以通过设定置信度系数,根据公式(2),用三角模糊数表示为[8.4,11.6]参数域。

相似实例检索界面如图5所示。研究者根据上一步建立的需求物元模型,点击“实例检索”按钮在实例库中检索与其相似度最大的产品实例,由图5可知最后检索结果是型号为LG-6.3/10的螺杆空压机与需求实例相似度最大,但噪声、重量、润滑油量的性能仍不能满足客户要求,需建立可拓矛盾消解模型 $P = G \cdot L$,进行下一步的产品配置设计。

设计过程矛盾消解界面如图6所示。用户点击



图4 设计需求物元模型



图5 相似实例检索

“关联度”按钮计算出各性能关联函数值,噪声、重量、润滑油三者的关联函数值小于零,说明这三者性能不满足客户需求,需要分别进行事元分析,以噪声为例,通过事元分析获得可变换的配置基元为消声器,对消声器进行可拓变换消解矛盾。

性能传导特征提取界面如图7所示。用户在“变换后对应性能信息元”一栏中可以通过“添加”按钮输入变换后的信息。点击“计算”按钮,计算出变换前后的信息元之差。

传导分类知识提取界面如图8所示,首先,通过设定阈值以及上一步计算得到的信息元之差判断哪些是

