

基于功能需求模式识别的变异式 产品需求分析建模方法及其在产品中的应用

齐二石 焦建新 孙炳

(天津大学管理学院, 天津 300072)

摘要 提出一种产品需求分析建模的方法, 它通过识别已有设计的功能需求模式来映射历史数据和抽取专家经验和知识, 从而在新产品设计中根据功能需求模式, 通过对以往产品设计的修改和进化来进行产品需求分析。功能需求模式的定义、识别和利用在文中进行了详细的讨论。该方法理顺了需求分析定义的精化过程, 简化了繁琐的顾客与设计者的沟通和交互过程, 并减轻了需求分析定义中内在的复杂性和模糊性。机器学习技术的应用, 将专家经验和知识结合到功能需求模式中, 并反映产品进步、技术趋势和市场竞争等战略性因素, 从而增强了需求分析中有效利用领域知识的能力。在电源产品设计的实践表明了该方法的可行性和潜力。

关键词 产品设计 产品需求分析建模 机器学习

Product Requirement Analysis and Modeling Based on Functional Requirement Pattern Recognition

Q I Ershi J I A O J ianxin S U N B i ngkun

(School of Management, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract In this paper, we propose a variant approach to product requirement analysis and modeling, in which the product requirement analysis for new design can be evolved from pre-existing product designs by recognizing functional requirement (FR) patterns. A two-phase methodology of FR pattern recognition and pattern adoption, is presented in the paper. The proposed approach eases the tedious interactive elaboration process of requirement definition between customers and designers. In addition, it reduces the complexity and risks inherent in requirement specification. Furthermore, it opens opportunities for incorporating expert heuristics into FR patterns from competitive products and technology trends. A case study conducted in power supply design helps to illustrate the feasibility and potential of the proposed approach.

Keywords product design; product requirement analysis; machine learning; functional requirements pattern recognition

1 前言

有效地获取和理解顾客需求(Customer needs), 并在设计规范(Design specifications)中准确地定义产品需求(Product requirements)信息, 是在当今激烈竞争的全球化市场环境中产品设计成功的必要前提。产品需求信息的准确和有效获取不仅能缩短产品的上市时间(Time to market), 而且对以顾客满意(Customer satisfaction)为衡量标准的产品设计质量有着重大影响^[6]。

收稿日期: 1996-10-09

作者现联系地址: 香港科技大学工业工程与工程管理系

全设计理论(Total design)^[2]提出了理解和解释市场信息的重要性和必要性,并强调这些信息应以全面透彻的方式反映在产品设计规范(Product design specifications)中。Stauffer和Morris^[13]指出有关产品开发的研究需要在两个关键领域进行改进:抽取顾客需求信息及根据顾客需求信息定义产品设计规范。通过获取、分析、理解和映射顾客需求信息(习惯称作顾客呼声VoC—Voice of Customer)来定义产品规范(即所谓产品需求分析)的方法近年来引起了学术界和实践者的共同兴趣^[2]。O fuji等^[3]提出了语义学的方法将顾客呼声(Voice of customer)转换为产品需求信息,它以KJ方法(Afinity diagram)和M PM法(Multipickup)为基础从情绪语言(Affective language)中揭示事实。Kano^[15]开发了针对产品定义的分类顾客需求信息的系统步骤。另一类研究工作出现在市场研究领域,其重点在于顾客传略(Customer profiling)。它采用统计分析的方法,如Regression analysis,比较顾客的诸多特征,确定其整体排列(Ranking)对盈利(Profitability)的贡献^[4]。市场研究的技术还包括小组会议(Focus group)、一对一会谈(One-to-one interview)、及异同属性排列(Similarity-dissimilarity attribute rankings)^[16]。虽然这些方法有助于揭示顾客呼声,但是难以反映设计信息。这是因为市场人员不可能完全了解工程人员所需知道的产品需求特征指标。这些方法很难达到市场与工程在产品定义中的协调一致(Coherent synchronization)。

在工程领域,一种广泛应用于沟通和协调市场与工程的技术是质量功能展开(QFD—Quality function deployment)^[5]。QFD的关键是提供了一个基本的度量工具(HoQ—House of Quality),以清晰表达两组信息,即顾客呼声和产品特征及其关系。尽管QFD擅于将顾客信息转化为设计需求,其局限性在于它实际上只是一种揭示VoC的方法^[17]。Fung等^[14]探讨了QFD的市场侧面,并提出在将顾客属性输入到HoQ之前对VoC进行预处理。预处理的方法采用了Affinity diagram(KJ method)进行分类,并以层次分析法(AHP—Analytical Hierarchical Process)分析不同顾客需求的重要性。从设计角度出发,Stauffer^[13,17]提出了开发产品需求分类树(Taxonomy)以辅助传统的定性市场研究产品需求分类树与一种在专家系统技术中常用的问题探究方法(称为CGS—Concept Graph Structure)相结合提供了抽取顾客需求信息的有效方法,并使获取的顾客需求信息更加接近于设计人员。其缺点在于需求分类树过于通用化,难以反映具体产品设计的领域特色。另外,通过分类树的剪枝来反映领域决策知识,其可操纵性在复杂的产品设计中难以控制。而在产品定义中顾客需求分析的关键在于如何给以高度专业化为特点的实际工程设计问题提供一般化的技术支持。

另外,现有方法的重点大多在于针对崭新(Brand-new)产品设计,即产品开发由一张白纸开始。而在工程实际中,新产品的开发几乎都是由现有产品进化而来的,至少有一定的参考对象。就产品需求信息的研究而言,目前的方法基本上没有反映出工程实际中这种进化式产品设计(Evolutionary Product design)的本质。因此产品设计的方法还存在许多有待改进之处。历史数据、产品进化路径、顾客反馈等基本上在新产品设计中被忽略,至多是以隐含的方式被考虑。由是造成产品设计极少有机会利用已有产品设计中蕴藏的顾客需求信息。另外,现代市场环境中,产品生命周期日益缩短,产品开发投资日益昂贵,产品种类繁殖迅速,现有的产品需求分析方法缺少定义产品需求信息的客观性,体现出了极大的局限性,难以满足交货期的要求。因此,从工程实际出发,在产品设计中非常有必要开发一种结构化的产品需求分析方法,以利用现有产品设计中积累的经验和信息。旨在借助历史数据探讨顾客需求,本文提出了一种产品需求分析建模的方法。其实质在于从以往设计中识别产品功能需求模式(Functional requirement patterns)及其关系,从而应用于新产品设计的产品需求分析,以开发完备和合理化的设计规范。

2 产品需求分析建模(Product requirement analysis & modeling)

在产品设计中,产品需求(Product requirements)分析涉及所有有关对产品生命周期不同透视(Perspective)的信息,如顾客需求、可制造性、可靠性、可维护性、环保等。因而广义上讲产品设计的顾客(Product customers)不仅包括产品必须满足的来自外部的最终顾客的需求(External customer needs),而且应包括产品开发过程设计小组(Design team)之后所涉及的所有开发者,即所谓产品生命周期顾客(Product life cycle customers)^[17]。产品需求分析建模则是指产品需求信息被采集、分析、结构化,并转换为设计规范的

过程,以便更好地组织相应的设计过程,该过程是市场调研与设计之间的桥梁,是决定产品最终顾客满意的关键

产品需求分析从顾客的初始需求开始,到最终完备化的设计规范,是一个繁琐的、顾客与设计者之间频繁交互的过程。通常反复的磋商(Negotiation)和取舍(Tradeoff)是达到完备化的设计规范所必需的。该过程(如图1所示)涉及顾客领域与设计者领域之间的相互沟通和理解,其间存在着许多困难,如顾客难以充分理解不同需求(Requirements)之间潜在的耦合(Coupling)和约束关系及其对产品综合性能的影响

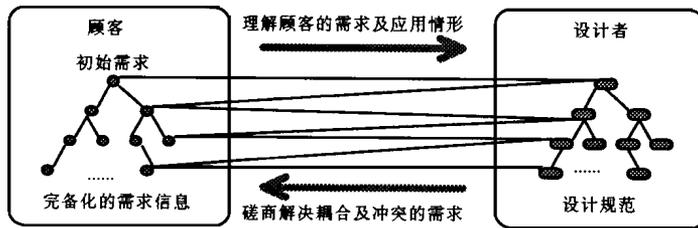


图1 产品需求分析的精细化过程

2.1 技术难点

(1) 产品需求表达文本不匹配(Contextual mismatching)——通常,顾客和设计者基于不通的领域视图(Domain view)采用不同的文本集(Contexts)来表达产品需求信息。二者在语义和术语上的差别使产品需求信息难以从顾客映射到设计者。

(2) 产品需求信息本身缺乏明确的体系结构——产品需求的不同变量及其关系通常难以被深刻地理解,一般以抽象、模糊的概念化方式表达。由此造成产品设计不得不基于模糊的假设,形成了设计决策的瓶颈。

(3) 产品需求分析缺乏结构化的映射关系——产品需求变量与设计参数之间的关系在设计的早期阶段都不是很明确。顾客提出的需求对产品性能的影响难以估计,尤其是经济性、生产期、质量等方面的影响。

(4) 产品需求信息的广度——在并行工程的环境下,并行设计要求产品需求信息反映所有产品生命周期顾客的呼声,从而在设计早期考虑制造、装配、服务、工程等因素,即所谓DFX(Design for Manufacturing, Design for Assembly, Design for Serviceability, Design for Quality,等)。

产品需求信息的广度要求其分析应区别于传统的基于市场调研的需求分析模式,反映整个产品生命周期所涉及的各个不同方面、不同部门对产品需求信息的透视,成为一种驱动并行设计环境下联队工作(Teamwork)的元设计数据(Meta-design data)。这一广度的要求无疑增加了产品需求分析建模之难度。

2.2 必要性与充分性

由于以上列举的产品需求分析本身存在的困难,以及传统的产品设计对产品需求分析认识的不足,产品设计中存在着不少问题,如设计者不得不依赖于原型(Prototype)或类似的产品来归纳和诱导(Induce)顾客的需求,造成费事费钱的硬件实施;再如顾客难以承受成本的负担及时间的延误;不完整需求信息下不得不做出取舍,及设计者不得不仓促交付非完备化的设计;而顾客更不可能了解潜在于需求变量之中的设计参数间的耦合和约束关系及其对产品整体性能之影响。所有这些造成了产品设计中常见的情形,即顾客不得不接受不十分满意的产品,而制造商难以提供竞争性强的产品。

现代市场环境(Turbulent market)对产品施加了顾客驱动的要求,从而提出了产品需求分析的必要性。而并行工程的实施及顾客化大生产^[8]要求产品设计覆盖整个产品生命周期。这种现代产品设计区别于传统的推动式生产系统,适应于现代制造环境下拉动式系统的策略,增加了产品需求信息的广度和深度。这些因素使产品需求分析建模成为现代产品设计中一个十分重要和突出迫切的难题。通过产品需求

分析建模,即探究和推导明晰的产品需求,并根据其结构化的信息组织相应的设计过程,产品设计必将取得极大的改进

产品设计的进化的特点^[9],使我们能够构造新产品设计的需求分析予以以往产品设计的基础之上。已有的产品设计都包括一个已经终结了的产品需求分析过程,既有对外部顾客需求的理解,又有对反映产品生命周期内部顾客信息的概括。已有产品设计的需求分析是一种经验性的过程,隐含于工程文件之中,其中的经验和知识无疑对新产品设计的需求分析建模提供了一种可行的投射方法

3 基于功能需求模式识别的变异式产品需求分析建模方法

3.1 进化式产品设计 (Evolutionary Product design)

在产品设计的实践中,为克服产品需求分析的困难和问题,产品设计常采用进化的方法,而非从零开始。即根据具体的顾客要求,结合以往设计的经验、历史信息、顾客反馈、安装与服务记录、保修信息等,对现有产品进行修改和改进,从而以较快的交货期和较低的设计成本增强产品竞争性,并提高顾客满意程度

3.2 功能需求模式 (Functional requirement pattern)

Num P. Suh 在其公理式设计理论 (Axiomatic design)^[12]中将设计过程划分为四个领域,并定义设计过程为这四个领域间的曲折式映射 (Zigzag mapping) 过程,如图 2 示。顾客领域反映了产品设计的顾客视图,表现为顾客需求 (CNs),涉及产品的整体综合性能,包括功能、报价、交货期等。物理领域为产品设计内部视图,包括设计者的设计方案 (表现为设计参数 DPs) 和制造过程 (表现为过程变量 PVs),而功能领域则是连接产品设计内外部视图的桥梁。功能需求 (FRs) 起着沟通顾客需求与设计可行性作用。换言之,功能需求既反映了产品设计外部顾客的需求,又反映了来自企业内部产品生命周期顾客的需求 (如可制造性)。工程设计的进化式特点,表明在大量的历史产品积累中存在着一定的功能需求模式,它集中体现了外部顾客需求与设计可行性间的潜在的映射关系,同时蕴含了大量的市场调研、设计、制造的经验 and 知识,其对新产品设计的价值显而易见

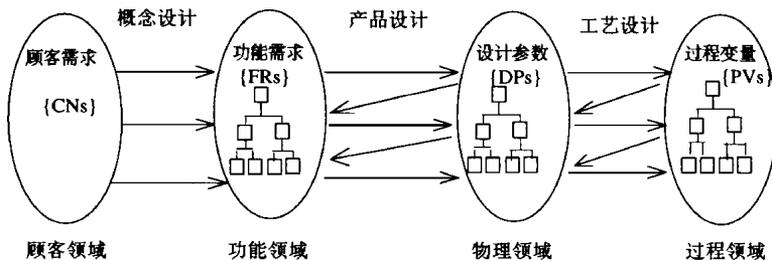


图2 公理式设计理论 (Axiomatic Design)

3.3 变异式需求分析建模方法

从产品设计的实际出发,本文提出了一种变异式的方法进行产品需求分析建模。该方法通过映射历史数据来识别功能需求模式 (FR pattern),从而在新产品设计中根据这些模式,通过对现有产品设计的修改和进化来进行产品需求分析。这种变异的方法理顺了需求分析定义的精细化过程,它首先通过借鉴现有的模式简化了繁琐的顾客与设计者的沟通和交互过程,减轻了设计者的工作量。其次,功能需求模式明晰了隐含于以往产品设计需求分析中的专家经验和知识,从而有效地限定了需求分析的层次,提高了需求分析的完备性。再次,功能需求模式同时也反映了内部顾客的需求,是一种实现DFX的并行工程要求的有效支持。另外,根据功能需求模式很容易自动判断需求分析是否足够细化,从而现有的设计系统(如CAD)能否直接采用。因此,这种变异式的方法能极大地提高设计效率和设计质量。

该方法的局限在它依赖于先前类似设计的存在。对于有技术突破的更新式设计 (Innovative design) 和

创造性设计 (Creative design), 该方法不适用。另外, 对模式的修改等仍需要丰富的领域知识, 有时仍须与外部顾客进行交互。

3.4 技术基础—机器学习

变异式方法的基础在于存在有产品设计数据库, 包括产品需求规范、顾客反馈等有关的历史信息。功能模式识别形成了一种问题求解范式, 即数据密集而知识稀少或难以明晰化 (Data-rich, knowledge sparse)。其特点是存在大量的数据, 而没有或极少存在有关对这些数据如何解释的先验性 (a priori) 知识。在人工智能中, 机器学习 (Machine learning) 常用于这种问题的求解。其中归纳式学习 (Inductive learning) 适用于经验性地由数据中抽取知识, 即基于实例的学习 (Learning from examples)。本文的工作采用了归纳式学习技术进行功能需求模式的识别, 包括概念聚类 (Conceptual clustering)^[10] 和自适应交互式学习 AMS^[11]。

3.5 变异式方法的两个阶段

变异式方法分为两个阶段, 即功能需求模式的识别阶段及模式的应用阶段, 如图 3 所示。功能需求模式识别实际上是准备阶段, 它基于产品设计的历史积累数据, 抽取出一一定的功能需求模式以反映表达一类产品的功能需求体系结构。这种功能需求的体系结构为产品需求分析的通用表达形式 (Generic representation), 在模式应用阶段辅助新产品设计的需求分析。

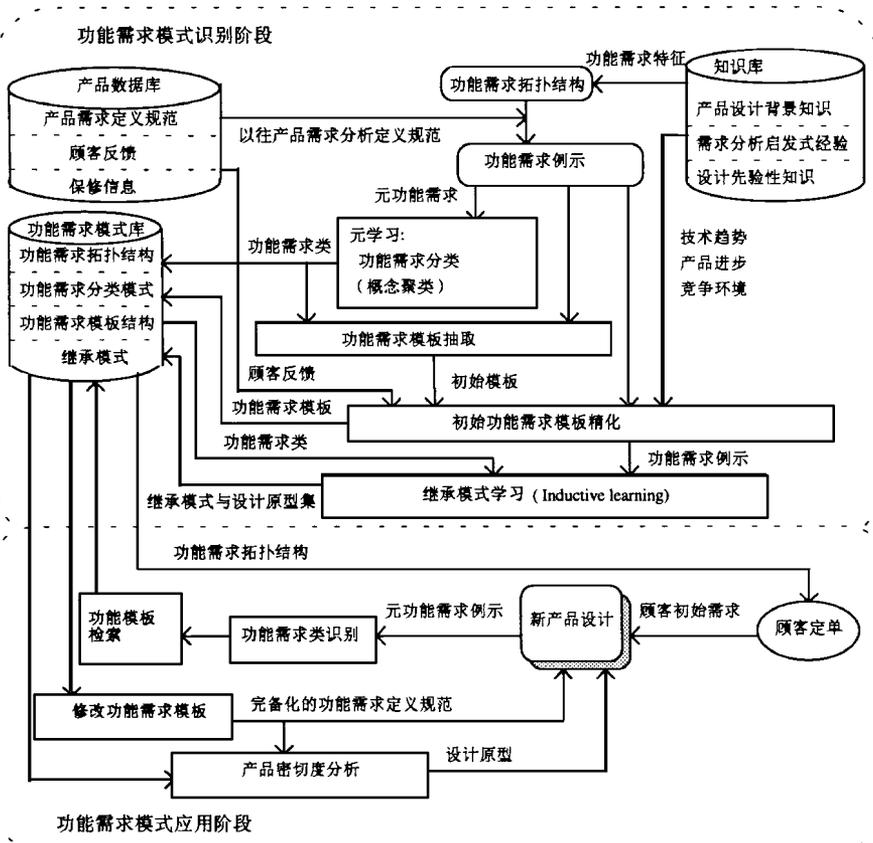


图 3 变异式产品需求分析建模方法

3.6 功能需求模式识别

(1) 功能需求拓扑结构 (FR topology)

功能需求拓扑结构指描述功能需求特征的功能需求变量及其关系。由于产品需求分析是一个经验性

的过程,取决于不同的设计者对产品的认识,功能需求拓扑结构的建立过程常采用人工智能(AI)中常用的知识获取方法 专家的启发式经验通过专家会见(Interview)来明晰化,此外还涉及技术进步、产品进化、竞争策略、新工艺引进、生产力调整等方面的考虑

功能需求拓扑结构的建立过程(如图4),开始于顾客所视的产品的整体性能,结合领域知识进行功能需求的分级分层 该分解过程遵循公理式设计理论^[12]的曲折式映射(Zigzagging mapping),即设计过程内在的决策结构涉及一系列的设计参数的定义,以作为一种明晰化的方式来满足逐步分解的功能需求集,并提供细节化的需求变量与设计选择间的概念化联系 即每一项功能需求 $FR_i (i = 1, \dots, n)$ 分解成一系列非重叠的子功能需求集 $\{FR_{ij}, j = 1, \dots, m\}$,其分解对应于物理领域的设计参数集 DPs . 功能需求拓扑结构可表达为一个分层的功能需求矢量: $FR_0 = \{FR_1, FR_2, \dots, FR_p\}$, $FR_{-1} = \{FR_{11}, FR_{12}, \dots\}$, \dots . 该拓扑结构定义了表达整个产品谱图(Product spectrum)产品需求信息的一般特征及表达方式,并以系统化地组织位于功能领域的功能需求来结构化地定义位于顾客领域的产品需求 拓扑结构的层次结构反映了功能需求变量间的彼此关系

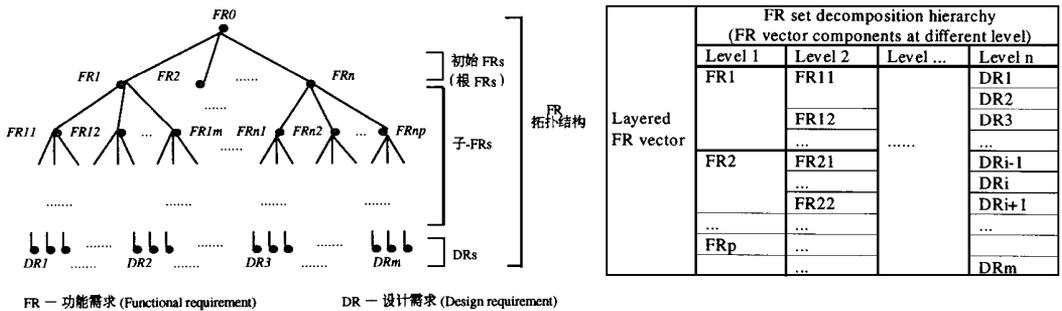


图4 功能需求拓扑结构及分层FR矢量

(2) 功能需求例示(FR instances)

根据功能需求拓扑结构,以往产品设计的功能需求规范(FR specifications)例示化成为分层FR矢量的结构化表达,每一个产品对应于一个例式 由于产品种类不同,并不一定所有的功能需求变量都取得有效值,即有的变量赋值为空 通过这种映射的方法,蕴藏于以往产品设计中有用的历史数据和领域知识明晰表达为以功能需求拓扑结构为统一格式的产品功能需求例示,这些例示的集合表达了以往产品设计的需求分析信息及专家经验和知识

(3) 功能需求分类(FR Classification)

产品种类的千差万别决定了在产品谱图中存在有一定的功能需求类别 功能需求的不同类别,即功能需求类(FR class),对企业内部而言是确定产品系列标准的依据 对外部市场而言,则表明了不同类别的顾客群 因此它是实现面向顾客化大生产的设计之关键^[6].

功能需求分类采用了机器学习技术 概念聚类(Conceptual Clustering)根据概念成员度(Concept membership)来划分已有的产品设计,即根据每一类中的设计能否全部用单一的类概念来描述 相对于传统的数值分类法(Numerical taxonomy),概念聚类具有明显的优点,如类的概念化描述,对象和对象类的符号表达,类的整体性质(Gestalt properties),避免了对名义属性值(Nominal value)的非精确加权和排序方法^[10]. 在本文的工作中,我们采用了概念聚类软件CLUSTER/2^[10].

在功能需求的概念聚类中,参考所有的功能需求例示,一些上层的功能需求变量依据领域知识被识别为元功能需求变量(Meta-FRs),以区分不同的产品类,使得类间(Inter-class)产品功能需求的相似度小,而类内(Intra-class)产品的功能需求相似度大 元功能需求变量实际上是概念聚类中描述功能需求类的分类属性变量

(4) 功能需求模板 (FR template)

参考功能需求拓扑结构和功能需求例式, 从每一个功能需求类 (PR Class) 可以总结出一个功能需求模板。对应于不同功能需求类的不同功能需求模板反映了以往产品设计的不同功能需求模式。最终功能需求模板的构造还要对这些初始功能需求模板进行修改和精化以反映工程实际和经营策略, 从而引导新产品设计的方向。其中考虑的因素包括产品进化规律 (Product migration)、技术进步、市场竞争、企业发展战略等。功能需求模板反映一个功能需求类的一般特征, 而非针对某一个具体的产品。每一个功能需求模板 (FR template) 对应于一个功能需求类 (FR class), 并由相应的元功能需求 (Meta-FR s) 来识别和检索。

(5) 继承模式 (Inheritance trace)

大多数工程设计由其样板 (Parents) 进化而来。以往设计中必然存在着继承的规律, 它表明现有设计如何由一个基本的设计 (称之为设计原型) 修改而来。给定一个完备化的功能需求规范 (FR specification), 可以根据由现有实例中总结出来的继承模式, 找出一个或多个相似的设计作为新设计的设计原型。

继承模式的学习采用了自适应交互式建模系统 A M S^[7], 其中产品密切度^[6]作为性能变量 (Performance variable)、设计原型 (Base model) 作为决策变量。产品密切度反映了不同设计间的变异 (Design variation) 和成本 (Total product cost) 的比较。功能需求的差异 (FR discrepancy) 反映了不同设计的变异。功能需求间的差异则可根据功能需求的分类模式和功能需求模板来确定。A M S 根据不同设计原型的适用范围, 将以往的产品设计分解聚类为不同的类 (Cluster), 从而不同的产品功能需求对应于不同的设计原型。另外, 可采用生产批量代表顾客的订货数, 以在 A M S 学习中反映市场因素, 包括顾客策略。

3.7 功能需求模式应用

以上反映现有设计的功能需求模式可辅助新产品的需求分析, 以借鉴历史数据和经验。其步骤如下:

(1) 顾客需求辨识

如前所述, 顾客与设计者间沟通的困难使得顾客很难以完备化的方式表达各个功能需求。此时可借助功能需求拓扑结构提供一种规范化的表达方式和机制, 以帮助顾客和设计者在产品需求分析的早期明晰化顾客呼声。

(2) 功能需求模式检索

对应于顾客输入的产品需求, 通常不止一个功能需求模式可供选择。问题的关键在于修改的难易。此时功能需求模式可提供一种结构化的机制供需求分析考虑不同方案对总成本、交货期等因素。其作用在于使顾客、市场调研、及设计者以客观的方式评判各种不同的取舍 (Trade-off)。

(3) 功能需求规范定义

产品需求分析的结果是定义功能需求规范 (FR specification), 以开发合理化的设计规范 (Design specifications)。功能需求模板则为之提供了结构化的样板, 并保证了其完备性。功能需求模板为功能需求规范定义提供原型, 不但增强了顾客满意度, 也保证了规模经济及维护设计和制造投资。

(4) 设计原型建议

在产品进化设计中, 设计原型的寻找通称依赖于经验和反复的尝试 (Trial and error)。给定功能需求规范, A M S 的归纳式学习可依据继承模式建议一个或多个以往类似的产品作为设计原型供新设计进行修改和进化, 从而极大地提高了产品设计的效率和质量。

4 应用实例

基于功能需求模式识别的产品需求分析建模的原理和方法已应用于一个实际课题^[8]中, 即电子行业中 40W 交直流开关电源设计。

4.1 功能需求模式识别

按照 3.6 的步骤并结合领域知识, 交直流开关电源的功能需求拓扑结构总结如表 1 示。3000 多个现有产品的历史数据被映射为功能需求例示, 其中不同种类的产品存在功能需求例示的差异, 从而引出了功能需求分类的必要性。

基于专家知识和分类目标,我们选用了15个元功能需求变量来描述交直流开关电源的功能需求分类。表2给出了这些元功能需求变量的名称、类型和含义,及CLUSTER/2软件输入的符号表达的一个例子。通过概念聚类,交直流开关电源的功能需求分成6类,从而形成6个产品系列标准,即NFS40系列、NFN40系列、NFS40医用系列、NAN40系列、NAL40系列和CL40系列。表3给出了NFN40系列和NAN40系列的功能需求类描述。结合竞争信息和技术进步趋势,从每一个功能需求类可抽取和精化出一个功能需求模板。作为一个例子,表4给出NFN40系列的功能需求模板。对于NFN40系列,其继承模式抽取如表5所示,其中第一个产品为设计原型,括号中的数字为相对于该设计原型的产品的密切度加权值。

表1 低功率交直流开关电源的功能需求拓扑结构

| DESCR IPTV E LEVEL | GENE R I C LEVEL | TERM NOLOGY LEVEL | EN G N E E R N G LEVEL |
|--|---|--|---|
| FR 1: U sed in what country (Input Requirement) | FR 11: Operating range | FR 111: L ine voltage | FR 1111: V oltag e range |
| | | | FR 1112: L ine frequency |
| | | FR 112: A lternative power source | |
| (Output Requirement) | FR 12: Protection | FR 121: Inrush current | |
| | | FR 122: Pow er-line disturbance | FR 1221: B row n-out FR 1222: D rop -out |
| | FR 21: Pow er level | FR 211: Total output power FR 212: N o. of output | |
| FR 2: U sed in what system (Output Requirement) | FR 22: Pow er quality | FR 221: Regulation/O utput voltage range | |
| | | FR 222: O vershoot (Turn on overshoot) | |
| | FR 23: Signal | FR 231: Signal level | |
| | | FR 232: Fan out | |
| FR 24: Protection | FR 241: O vervoltage protection (O/V) | | |
| FR 3: U sed in what environment | FR 31: Operating condition | FR 311: Operating temperature (range) | |
| | | FR 312: Operating relative humidity | |
| | FR 32: Safety | FR 321: E M C /R adio frequency interference | |
| | | FR 322: E M I/ Pulse E M C requirement/IEC | |
| FR 33: M echanical requirement | FR 331: M echanical outline (O verall dimensions) | | |
| | FR 332: Connection/Connector/Electrical pinout | | |
| FR 4: U sed for what application | FR 41: Reliability | FR 411: M TBF hours (continuous operation) | |
| | | FR 412: O n/O ff cycles (R epetitive operation) | |
| | FR 42: Quality | FR 421: max failure rate (percent) | |
| FR 5: U sed for what market | FR 51: Delivery Requirement | | |
| | FR 52: Cost Requirement | | |

表 2 元功能需求变量描述功能需求类特征(低功率交直流开关电源)

| Meta-FR s serve as variables representing FR class features | | | Symbolic representation of FR s as input to CLUSTER/2 |
|---|----------------------|----------|---|
| Meta-FR s description | Classifying variable | Type | |
| Application | application | nom inal | application= universal input sw itcher |
| Input range | input- range (VAC) | linear | input- range= 85, 264 |
| Safety requirements | safety | nom inal | safety= UL, CSA, VDE, BABT |
| Protection | p rotection | nom inal | p rotection= overvoltage, short circuit |
| Main size (L × W × H) | size (mm, mm, mm) | linear | size= 127, 76 2, 30 5 |
| Cooling | cooling (W) | linear | cooling= 40, 50 |
| Number of outputs | output- number | linear | hold- up- time= 14, 110 |
| Output voltage | output- voltage (v) | linear | efficiency= 70 |
| Max current at convection | i max (a) | linear | output- number= 3, |
| Max current at fan cooled | i fan (a) | linear | output- voltage= 5 1, 12, - 12 |
| peak output current | i peak (a) | linear | i max= 3, 2, 0 35 |
| Ripple peak to peak | ripple (mV) | linear | i peak= 7, 3, 1 |
| Regulation | regulation (+ /- %) | linear | i fan= 5, 2, 0 5 |
| Hold-up time at @ 110VAC, 40W AND @ 230 VAC, 40W | hold- up- time (ms) | linear | ripple= 50, 120, 120 |
| Efficiency | efficiency (%) | linear | regulation= 2 0, 5 0, 5 0 |

表 3 低功率交直流开关电源的两个功能需求类描述

| Meta-FR s | NFN 40 eries | NAN 40 series |
|-------------|---|--------------------------------------|
| Application | U niversal input sw itchers | U niversal input sw itchers |
| Input range | 85VAC-264VAC universal input Fixed frequency operation | 90VAC-264VAC universal input |
| Safety | UL, CSA, VDE, BABT | UL, CSA, VDE, BABT |
| EMC | EN 55022 class B FCC class B VDE0871 class B | EN 55022 FCC, and VDE0871 class B |
| Protection | O vervoltage Short circuit with auto-restart | O vervoltage; O vercurrent |
| Size | 127 × 76 2 × 30 5 | 127 × 76 2 × 30 5 |
| Cooling | 40W convection 50W in 20CFM | 40W convection 50W in 20CFM |
| Outputs | Single; Triple | Single; Dual, Triple |

表4 NFN 49 系列的功能需求模板

| | |
|---|--|
| SAFETY REQUIREMENTS | Transient response |
| Designed to meet: | OVP Threshold Band [V TO V] |
| UL, CSA, VDE, TUV, BABT, OTHER | Burn-in Power with Rated Fan [watts] |
| ELECTRICAL SPECIFICATIONS (Input AC/DC) | At Min Power [from, to] |
| Voltage [Low, Nominal, High] | At Max Power [from, to] |
| Max RMS Current [Low, Nominal, High] | Efficiency |
| POWER FALL DETECTY | FCC [Designed to meet, Radiated, Conducted] |
| | VDE0871 [Designed to meet, Radiated, Conducted] |
| Max input Power | Leakage Current Requirements [μ A @ 132V, 60Hz] |
| Line Fuse [amps on board] | |
| REGULATION AND RIPPLE | Main size |
| Nominal Voltage | Special markings, labels |
| Average In in | Outline Drawing and Pinout |
| | |

This table is truncated-given due to page limitation.

表5 NFN 40 系列的继承模式

| |
|--|
| Trace 1= {NFN 40-7630E, NFN 40-7632E (0 8)} |
| Trace 2= {NFN 40-7632E, NFN 40-7638E (0 3), NFN 40-7681E (0 1)} |
| Trace 3= {NFN 40-7633E, NFN 40-1630E (0 8), NFN 40-7643E (0 35)} |
| Trace 4= {NFN 40-7608E, NFN 40-7634E (0 2), NFN 40-763E (0 45)} |
| Trace 4= {NFN 40-7605E, NFN 40-7639E (0 35)} |
| Trace 5= {NFN 40-7615E, NFN 40-7942E (1 2)} |

4.2 功能需求模式在产品中的应用

功能需求模式对新产品需求分析的辅助可由一个低功率交直流开关电源设计的实例表明。顾客的初始要求仅关心和涉及其自己的应用范围(通讯),包括输出、安全标准、功率密度、功率质量等。他们对电源设计本身并不十分了解,更不知道开关电源还有许多其他的性能要求指标及其对电源综合性能的影响。在设计的早期,顾客与设计者基本上是相互隔离,初始的产品需求非常不完备,无法开始设计。按照公司传统的设计过程,此时需要设计者与顾客反复地进行沟通和磋商。基本上对顾客而言是一个学习电源设计领域知识的过程,顾客不得不去了解众多的需求变量及其关系,还要了解公司的设计和生产能力、各种约束等。而对设计者而言,既是一个“教育”顾客的过程,又是一个了解顾客的应用(通讯)范围的过程,设计者不得不通过顾客了解其应用对电源设计的约束和影响。通常这种需求分析的过程极其繁琐,费时费力,影响设计规范的完备性,常导致设计的后期不得不回头再去找顾客进一步了解更详细的应用要求,造成反复地修改设计。另外,每一次产品设计都不得不重复需求分析过程,难以借鉴和利用以前的需求分析经验和数据。需求分析缺乏结构化的机制导致设计效率低下,设计与制造成本偏高,及交货期和设计质量的欠缺。

通过采用本文提出的方法,新设计中产品需求分析的难度大大减轻。根据顾客与设计者(实际上是市场部)的初始交互,元功能需求(Meta-FRS)取得例示化,作为功能需求类的标识(Index),检索出该顾客所属的功能需求类和功能需求模板。依据功能需求模板,需求分析极容易地以结构化的方式,由对模板进行修改而完成,相应地功能需求规范的完备性大大增强。根据功能需求规范和继承模式,产品的密切度分析可以建议一个类似的产品作为该设计的原型。

除了简化需求分析过程,就顾客满意而言,在设计中利用功能需求模式甚至可以达到顾客惊喜(Customer excitement)。在该设计实例中,顾客由于对电源设计领域知识的匮乏,根本不知道线瞬变的要求(Line transient requirement)。另外,其安全标准只须满足UL和CSA规范。借助于功能需求模式,新设计不但满足了顾客的初始要求,还提高了电源的性能,包括解决了线瞬变的要求,及安全标准覆盖UL、CSA、VDE和BABT规范。而这种提供给顾客的额外好处对企业而言是划算的(Cost-effective),这是因为实际上其功能需求成为标准化设计,反而减少了设计和生产的变动(Changeover)。

5 结论

大多数的产品设计形成有一定的产品数据库和产品族(Product family)。针对这种进化式产品设计,基于功能需求模式识别的变异式产品需求分析方法能够减轻繁琐的顾客与设计者交互的需求分析过程,从而提高了设计的效率和质量。功能需求模式作为修改顾客需求的基础,维护了产品族的整体性及产品结构的一致性,从而平衡了设计与制造投资。机器学习技术的应用使专家经验通过历史数据映射结合到功能需求模式中去,从而增强了有效利用领域知识的能力。

参考文献

- 1 Pugh, Stuart. Total design: integrated methods for successful product engineering. Wokingham, England; Reading, Mass: Addison-Wesley Pub. Co., c1991(1990 printing)
- 2 Fiksel, J. and Hayes-Roth F. Computer-aided requirements management. Concurrent Engineering: Research and Applications 1993, (1): 2
- 3 Shoji Shiba, Alan Graham, David Walden. A new American TQM. Productivity Press. Portland, Oregon, 1993
- 4 Stephen Jenkins. Modeling a perfect profile. Marketin, July 1995
- 5 Clausing Don. Total quality development: a step-by-step guide to world class concurrent engineering, New York: ASME Press, 1994
- 6 Ullman D G. The Mechanical Design Process. McGraw Hill, Inc., 1992
- 7 Gershenson, John A et al. Organizing and managing customer requirement during product definition phase of design. Proceedings of the 1994 ASME Design Technical Conference -6th Inter. Conference on Design Theory and Methodology, 1994, DE-Vol 68: 99~ 107
- 8 Mitchell M Tseng, Jianzin Jiao. Design for mass customization, Annals of the CIRP, 1996, 45(1)
- 9 Mitchell M Tseng, Jianzin Jiao. A Variant Approach to Functional Requirement Acquisition for Evolutionary Product Design, 20th International Conference on Computers and Industrial Engineering, Koera, Oct. 1996
- 10 Stepp R. Conjunctive conceptual clustering: a methodology and experiments, Ph.D Thesis, Report No. UUCDCS-R84-1189, Department of Computer Science, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1984
- 11 Lu S C-Y, Tchong D. Building layered models to support engineering decision making: A machine learning approach, Journal of Engineering for Industry, ASME Transactions, 1990, N113N1: 1~ 9
- 12 Such N P. The principles of design. Oxford series on advanced manufacturing
- 13 Stauffer L A and Morris L J. The Product Realization Process: New Opportunities and Challenges. Journal of Applied Manufacturing Systems, Winter'91, 1991
- 14 Fung R T K and Popplewell K. The Analysis of Customer Requirements for Effective Rationalization of Product Attributes in Manufacturing. Proceedings of 3rd International Conference on Manufacturing Technology. Hong Kong, 1995

(下转第 144 页)

(上接第 23 页)

- 15 Kano N, Seraku N, Takahashi F, Tsuchi S. Attractive Quality and Must-Be Quality. Hinshitsu 14, No. 2, February 1984, The Japan Society for Quality Control
- 16 Griffin A and Hauser J R. The Voice of the Customer, M S I Working Paper Series Reprint # 92-106 (March, 1992), Boston, MA: Marketing Sciences Institute
- 17 Hauge P L and Stauffer L A, ELK: A Method for Eliciting Knowledge from Customers DE-Vol 53, Design and Methodology, ASME Transactions, 1993, 113(1): 1~ 9