

支持变型设计的产品结构模型研究*

Research of Product Structure Model Supporting Variant Design

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 徐曙斌 王仲奇 耿其亚 康永刚

[摘要] 提出了一种基于装配拓扑树的产品结构模型,在此基础上构造了面向对象的产品模型类,并通过事物特性表技术实现从零部件类到零部件实例的转化,从而完成产品及其零部件的变型设计。本研究以 CATIA V5 为平台,将事物特性表技术和约束变型规则相结合,应用于某航空企业的工装快速设计中,并以型架为例给出了产品快速变型设计的过程,验证了所提出的产品结构模型的有效性。

关键词: 变型设计 产品结构模型 事物特性表 变型规则

[ABSTRACT] A product structure model based on the assembly topology tree is put forward. Based on this, the object-oriented product model classes are built up. By using tabular layouts of article characteristics technique, the transformation from part classes to part examples is realized, so the variant design of product can be carried out. Associated with variant rules and tabular layouts of article characteristics technique, aircraft tooling's fast design system on the CATIA V5 software platform is used in a large aviation enterprise. And a case illustrating practicability of product variant design is verified.

Keywords: Variant design Product structure model Tabular layouts of article characteristics (SML) Variant rule

变型设计是一种设计方法和设计过程,它的基本思想是通过改进已有的系列产品或设计实例来适应新的设计需求,实现产品的快速设计和新产品的快速试制定型^[1-2]。就整体而言,变型设计就是运用一定的规则将整个产品的设计归结为对其中各个部件、零件等功能模块的设计。因此在进行变型设计时建立一个合理的产品结构模型是实现产品快速变型的关键。文献[3-5]分别采用了在大批量定制条件下的产品配置

方法和面向用户的思想来构造产品结构模型^[3-5]。但从总体来看,这些产品结构模型主要反映了产品的装配关系,并不能全面合理地包容和组织相关产品的设计数据,不能适应现代企业对产品数据管理的要求。因此,本文主要研究一种事物特性表技术和变型规则相结合的产品结构模型。模型描述产品及其零部件之间的约束关系(并、或、异或)和选择条件,事物特性表则把产品结构数据按照规范化和标准化的格式表示为二维表格形式组织。结构模型描述一类产品,而事物特性表面向产品实例,实现产品结构类到产品结构实例的转化。

1 事物特性表技术

事物特性表是以固定的格式表的形式记录事物特性,并对零部件进行特性描述的 ASCII 文件^[6]。根据 GB10091 和 GB15049 标准,它是一种把事物的特性描述出来并统一规定存录和显现模式的信息标准。事物特性表详细描述产品对象的功能特性、结构特性(形状、材料、精度等)和工艺特性等,支持有效的检索和变型设计,适用于进行尺寸变型的组织产品设计。事物特性表的表格形式如表 1 所示^[7]。

表 1 事物特性表的空白规范结构

事物特性表 GB/T 10091.X X.X X					
特性代码	A	B	C	...	J
特性名称					
有关说明					
单位					

建立事物特性表的目的是实现从产品结构类到产品结构实例的转化,从而支持有效的检索和变型设计。如按照螺帽外径、螺帽高度、螺钉长度、螺旋方向、螺距等可描述一类螺钉,对这些特性进行参数化就可以得到某种螺钉实例,而这些相关特性参数组合就组成了螺钉的事物特性表。本文进一步扩展了事物特性表的功能,使之不仅包含了对表征产品零部件的决定

* 基金项目:航空基金(2006ZE53058),科技支撑计划(2006BAF01A03)。

性特性(如主要的几何参数、功能特性等)的定义,更重要的是记录有表中每个实例的配置规则(即与该实例有关的配置知识)。这些配置知识以文件的形式保存在相应的数据库中。

2 产品结构模型(PSM)的构造

产品结构模型可以看作是满足所有约束配置的构件的实例化集合^[8]。它可以根据不同客户的需求,从产品主结构中派生出需要的产品结构。构建产品结构模型时,首先在全面了解产品结构和功能的基础上,按照模块化和大批量定制的思想对产品进行模块划分;然后采用面向对象的方法将产品按照自上而下的方式逐层分解为产品类和各零组件类,从而构建出产品的层次模块结构。产品结构模型主要由构件集合、装配关系和约束规则集合组成。其原理图如图1所示。

为了描述产品结构模型,我们首先构造了描述产品及其零部件间装配拓扑结构关系的装配结构树。

2.1 产品装配拓扑树

产品装配拓扑树描述的是一种类结构,其结构如图2所示。

图2中,基本模块是指组成一个产品必须包括的模块;必选模块是指必须按照一定的规则从产品主结构的指定模块中选择一定数量的模块加入到产品中;可选模块是指可以按照一定的规则从产品主结构的指定模块中选择一定数量的模块加入到产品中。 O_2 表示在组成部件BNode2时必须且只能在Anode6和Anode7中选择一个零件构件,并且以该构件与CNode2的关系装配到BNode2中。 R_1 表示在组成产品族CNode1时,可以根据一定的规则在Anode4和Anode5中选择一个零件。

在装配拓扑树引入构件(Node)这一概念来表示产品对象或其零部件子对象。构件并不是具体的零部件,而是零部件的抽象,它是具有某些共同特性的零部件或多个零部件的集合。它可表示为一个四元组:

$$\text{Node}=[\text{ID}, \text{Sel}(\text{Inc}, \text{Num}), \text{Type}, \text{Des}(\text{Attr_name}, \text{Data_Type}, \text{In_cons})] \quad (1)$$

式中 ID 表示产品对象或其零部件子对象的唯一标识号; Sel 表示该构件的选择特性, Inc 的取值为 0, 1。

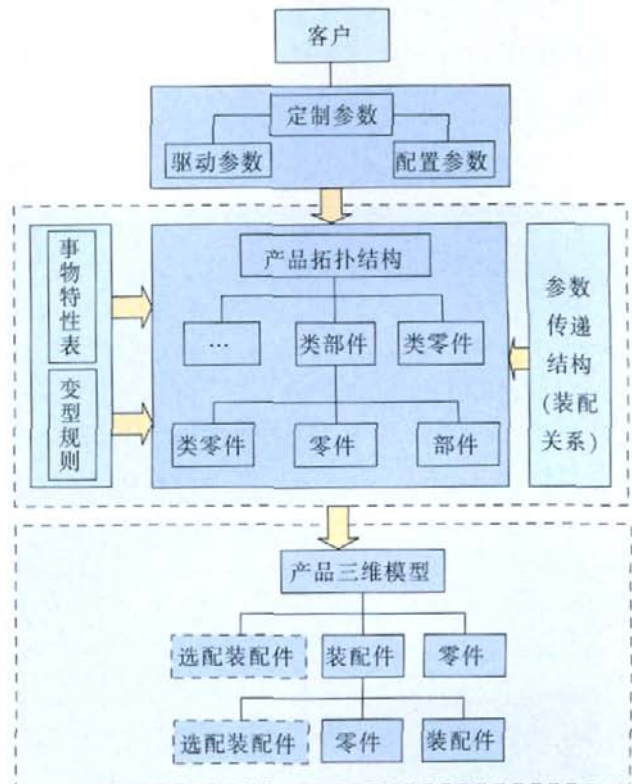


图1 产品结构模型原理图

Fig.1 Principle of product structure model

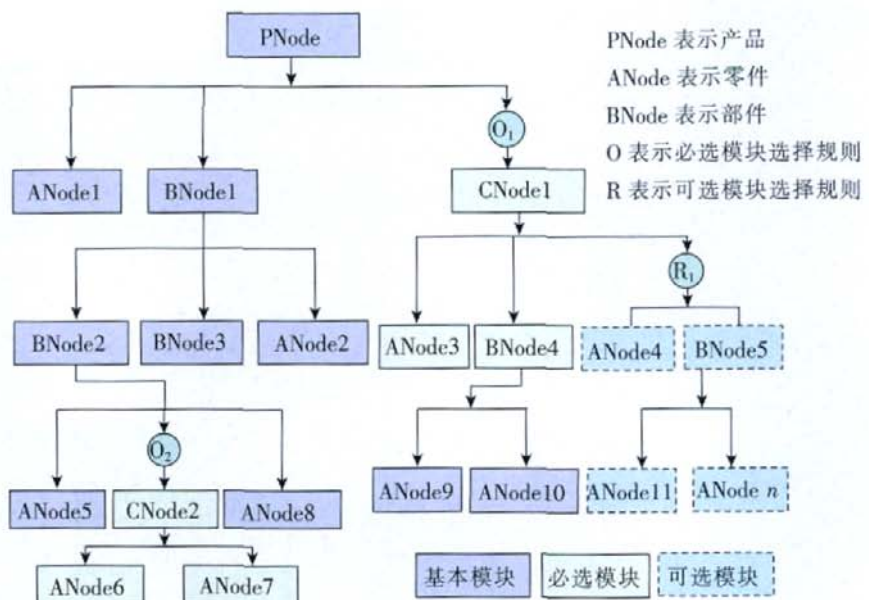


图2 装配拓扑树

Fig.2 Assembly topology tree

Inc=0 表示该构件是可选构件, Inc=1 表示该构件是必选构件。 Num 表示零部件在产品中的配置数目; Type 表示该构件的类型, 分为产品、零件构件、装配构件和配置构件 4 种。 Des 表示构件的属性描述信息。 Attr_name 表示该构件的一个属性名称; Data_Type 表示属性的取值类型, 如整型(int)、浮点型(float)、布尔型(bool)、字符型(char)等; In_cons 表示属性的取值限定约束。

2.2 PSMTree类的构造

以上装配拓扑树的构造可从结构上很好地支持产品对象的变异性。然后采用面向对象的方法对由 PSMTree 描述的产品原型进行建模, 在建模时采用事物特性表技术来构造描述 PSMTree 的类属性, 从而通过类的继承得到描述产品的类。

类构造时, 通过 O_Asm、O_Par 和 O_Sel 这 3 个类来分别描述 PSMtree 中的产品及其零部件构件。提取 3 个类的标识码 ID、名称 NAME、变型规则等共同属性构造基类 O_Base, O_Base 与 O_Asm、O_Par 和 O_Sel 构成分类结构(如图 3 所示)。O_Asm、O_Par 和 O_Sel 继承了 O_Base 的所有属性。

图 3 中, O_Par 类中主要包含零件变型规则、主要几何特性、功能特性以及算法特性等。O_Asm 类中主要包含有关的装配知识、特性参数和下层构件索引码构成。特性参数主要描述装配构件的主要功能尺寸以及各装配对象的定位尺寸, 表中索引码的顺序隐含了构成该装配构件时的装配顺序。O_Sel 类中主要包含关键参数表 Key_tab、匹配条件表 Mate_tab、选择功能表 Sel_tab 等属性。Mate_tab 匹配条件表描述了进行异或选择的条件; Key_lab 关键参数表描述进行异

或选择时的关键特性参数; Sel_tab 功能参照表描述该零部件参与构造上层部件时的功能参照关系。在 PCStree 类中引入配置构件类 O_Sel, 使得所描述的产品对象具有变异行为, 通过异或关系的约束, 缩小了事物特性表的搜索范围, 极好地支持了产品快速变型设计。

2.3 产品设计规则的知识描述

从上述的产品建模过程可知, 产品的许多变型都是基于知识表达的变型规则驱动的。因此, 如何进行规则表达也是进行变型设计的关键问题之一。本文主要从 2 个方面进行研究: 产品族模块间相互约束关系和模块内的变型规则。

产品族模块间相互约束规则只有在产品和部件中出现, 它在相应的事物特性表中通过指针形式以配置文件的形式存在。通过这些约束规则, 设计人员在产品设计时, 就可以对组成产品族的必选模块以及可选模块进行选择, 对产品主结构进行变型。其主要规则和约束关系有: 选择约束、依赖约束、互斥约束、继承关系、组成关系、实现关系等^[9]。以选择约束为例进行描述, 其他约束关系的描述同选择约束描述类似。选项约束的定义如下:

如果集合 V 中 a_i, b_j 等为选择关系, 则包含 a_i, b_j 等其中之一。

$$\text{Define constraint select}(\forall a_i, b_j \in U, \text{Create } V, \text{ if } V \neq \text{NULL then } a_i \in V \text{ or } b_j \in V)。(2)$$

变型规则主要针对模块内而言, 它可以分为数学关系式、逻辑关系式和条件表达式等。数学关系式是指可以用数学方程式来表达变型规则, 一般用在零部件尺寸变型和零部件数目变化上; 逻辑关系式是用来表示产品中是否包含某个零部件, 一般用来新增或删除零部件; 条件表达式一般用作替换零部件和零部件数目变化上, 它在语义上表示为“*If...Then*”的因果关系, 采用面向对象的方法组织。规则的表示形式描述如下:

<规则>::=<规则 ID><规则名称><事件><条件><动作>

<事件>::=<事件 ID><事件描述><事件规则>

<条件>::=<表达式><事实>

<动作>::={(<陈述>|<操作>)};

变型规则可以保存在零件构件的事物特性表中、数据库中, 也可以编译在程序内部或者采用外部编译器解析脚本程序文件。本文采用 Basic Script 脚本语言来编写变型规则, 其优点在于变型规则文件可以用

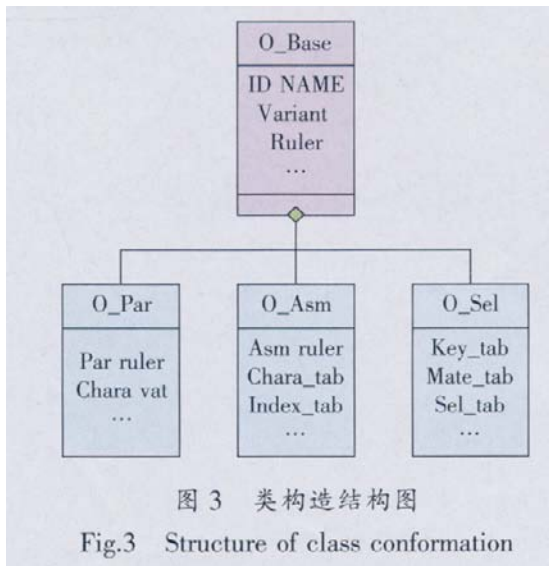


图 3 类构造结构图

Fig.3 Structure of class conformation

TXT 方式打开进行修改编辑。因此这样的变型规则是独立的,无须编译在程序内部,也无须编译生成 EXE 可执行文件。当程序调用变型规则文件时,只需找到文件保存位置,读取文件内的源代码,并对源代码进行解析并执行。

3 应用实例

本研究以 CATIA V5 为开发平台,将事物特性表技术和约束变型规则相结合应用于某航空企业的工装快速设计中。以型架为例,型架分为骨架、定位件、夹紧件和辅助装置,将骨架设为基本模块,定位件和夹紧件设为必选模块,辅助装置设为可选模块,再根据产品功能和特点按层次细分从而构造出产品结构模型。在构造事物特性表时,按照通用特征模型、零部件模型、产品模型的构造顺序进行。零部件的通用特征在 CATIA 下采用 UDF 和 PROGRAME 来构造,零部件模型的事物特性主要是采用带表的零件模型(对于零件)或装配模型(对于部件)和参数关系式来描述。

以骨架的快速变型设计为例,其设计流程如图 4 所示。首先提取产品的 CATIA 数模,用于获取产品装配基准面和轴线,并从特征库中获取骨架的装配特征从而生成骨架的轴线图。在此基础上从模板库和规则库中分别获取骨架的截面形状和相应的约束规则,生成骨架的模板。通过在调用的骨架事物特性表中参数和相关特性的选择实现骨架的实例化。并在此基础上通过界面调用和交互完成与其他相关零部件的装配。上述变型过程是在本文提出的产品结构模型的基础上通过事物特性表技术和约束变型规则相结合的方法实现的。

通过以上过程实现了骨架的快速变型设计,生成的骨架实例如图 5 所示。图 5 的左上图是根据产品数据按流程获得的型架骨架实例图,当产品的理论数据发生变化(长度从 15 000mm 变为 14 000mm),根据变型规则和产品数据与型架间的装配关系。骨架的形状自动发生改变。

4 结束语

本文以变型规则和事物特性表技术相结合的方法研究了一种基于装配拓扑树的产品结构模型,采用面向对象的方法建立支持快速设计的产品结构模型类,并通过事物特性表实现从零部件类到零部件实例的转化,为实现快速变型设计提供了良好的应用基

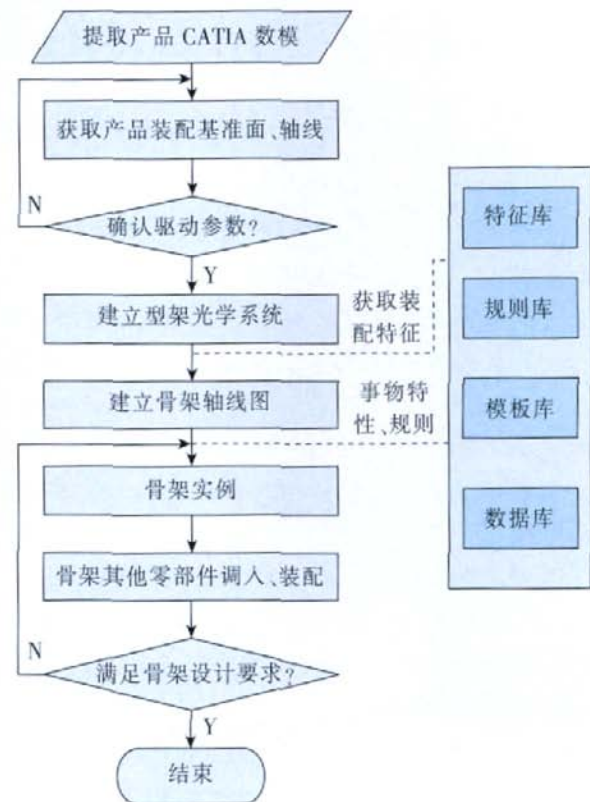


图 4 骨架设计流程图

Fig.4 Flowchart of frame

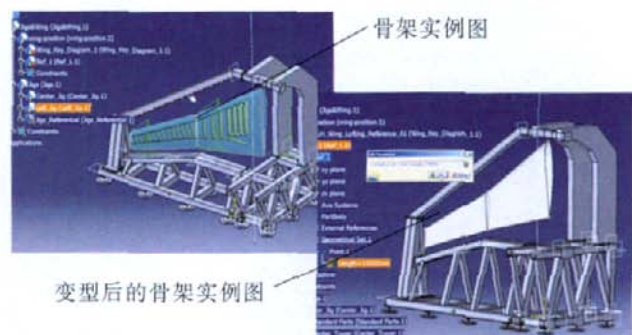


图 5 骨架的变型设计

Fig.5 Variant design of frame

础,并在某航空企业的型架快速设计中得到了应用。

参 考 文 献

- [1] 钟廷修. 快速响应工程和快速产品设计策略. 机械设计与研究, 1999, (1): 9-13.
- [2] 肖新华, 史明华, 杨小凤, 等. 基于模块化产品实例的变型设计技术. 中国机械工程, 2007, 18(7): 803-807.
- [3] 祁国宁, Schottner J. 一种面向大批量定制的产品模型方法. 计算机集成制造系统——CIMS, 2002, 8(1): 12-15.

(下转第83页)

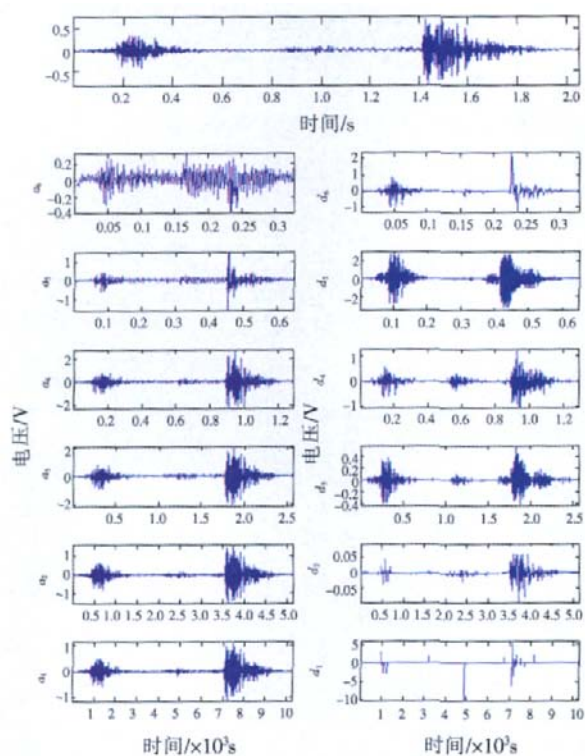


图4 严重磨损刀 AE 信号 6 层分解小波系数
Fig.4 6-layer decomposition of wavelet coefficients of serious-wear cutting tool by using AE signal

表 2 中可以看到 3 种刀具的各频段能量几乎都呈增加的趋势,而且还发现与其他的频段能量比较时, E_{d_5} 频段能量增加的比例幅度最大,笔者认为这部分能量可以作为刀具磨损的特征参数。为了说明结论

表 2 3 种刀具声发射信号的能量特征向量

刀具类别	E_{a_1}	E_{d_6}	E_{d_5}	E_{d_4}	E_{d_3}	E_{d_2}	E_{d_1}
新刀	16.164 5	10.372 6	32.162 8	10.612 1	1.721 3	0.561 9	0.471 6
微磨损	18.037 4	11.927 1	37.432 9	11.732 5	2.361 2	0.823 1	0.832 5
严重磨损	19.956 1	14.012 6	45.512 6	13.312 8	4.928 4	0.931 7	1.514 3

表 3 其他 2 种工况的切削参数

刀具类别		主轴速度/($r \cdot \min^{-1}$)	进给速度/($\text{mm} \cdot \min^{-1}$)	背吃刀具/mm
工 况 1	新刀	8 000	200	1.5
	微磨损刀	8 000	290	0.8
	严重磨损刀	8 000	95	2
工 况 2	新刀	12 000	290	2
	微磨损刀	12 000	95	1.5
	严重磨损刀	12 000	200	0.8

的正确性,用相同的方法分析了其他 2 种工况(表 3 中所列的工况 1 和工况 2),得到了相似结果。

4 结束语

本课题在介绍高速切削过程中声发射信号的产生和基本信号分析方法的基础上,提出了一种基于小波分解的刀具磨损状态检测方法,从传感器接收到的信号入手,判断出所关注的某一频率带的信号,并对该频带内的信号作小波分解,根据分解信号的能量判断刀具磨损的程度。试验表明,这种方法操作性强,有利于在实时监测中推广与应用。

参 考 文 献

- [1] 孙宝元. 切削状态智能监控技术. 大连: 大连理工大学出版社, 1999. 107-108.
- [2] 纪洪广, 张天森, 张志勇, 等. 无损检测中常用声发射参数的分析与评价. 无损检测, 2001, 23(7): 289-291.
- [3] Geng R S, Shen G T, Liu S F. A study on modal acoustic emission theory. NDT, 2002, 24(7): 302-306.
- [4] 刘国光, 程青蟾, 李雯里, 等. 声发射神经网络模式识别. 仪器仪表学报, 2003, S2: 406-408.
- [5] 焦敬品, 何存富, 吴斌, 等. 基于模态分析和小波变换的声发射源定位新算法研究. 仪器仪表学报, 2005, 26(5): 482-485.
- [6] Daig, Xuyl, Wang Zn. AE monitoring and data analysis for large spherical tanks. NDT&E, 1993, 26(6): 287-290.

(责编 晓静)

(上接第 79 页)

- [4] 吴含前, 姜澄宇. 一种面向对象的产品结构与配置管理. 南京航空航天大学学报, 2001, 33(2): 171-174.

[5] Hvamy L. A procedure for the application of product modeling. International Journal of Production Research, 2001, 39(5): 873-885.

[6] 顾巧祥, 苏少辉, 余军合, 等. 基于事物特性表的产品变型设计研究. 中国机械工程, 2004, 15(19): 1 713-1 716.

[7] 鲍仲平. 数据库中的事物特性. 北京: 中国标准出版社, 2002.

[8] 祁国宁, 顾新建, 谭建荣. 大批量定制技术及其应. 北京: 机械工业出版社, 2003: 139-148.

[9] 谭建荣, 冯毅雄. 设计知识建模、演化与应用. 北京: 国防工业出版社, 2007: 114-119. (责编 侧卫)