

# 基于 Pro/TOOLKIT 的生长型设计中产品反求系统<sup>①</sup>

黄复贤

(菏泽学院 计算机与信息工程系, 菏泽 274000)

**摘要:** Pro/Engineer 是基于 ACIS 几何模型内核的三维造型软件, 其自带 Pro/TOOLKIT 开发接口, 并支持自顶向下设计方法。结合功能表面、广义定位及生长型设计理论, 采用动态连接模式开发出支持创新设计的反求系统, 详细介绍反求系统的求解过程。

**关键词:** Pro/TOOLKIT; 生长型设计; 分解重构; 反求工程

## Product Recovery About Growth Design System Based on Pro/TOOLKIT

HUANG Fu-Xian

(Department of Computer and Information Engineering, Heze University, Heze 274000, China)

**Abstract:** Pro/Engineer is a 3D modeling software based on geometric model of the kernel of ACIS. That own Pro/TOOLKIT development interface and under the support of Top-Down design method. Binding functional surface, under the generalized positioning principle and growth design theory, a reverse engineering system that support innovative design was developed based on dynamic link library. In this paper, the solution process of reverse system was introduced.

**Keywords:** Pro/TOOLKIT; growth design; decomposition and reconstitution; reverse engineering

反求工程是针对消化吸收先进技术的一些列分析方法和应用技术的组合<sup>[1]</sup>。我国要进行科技自主创新, 必然需要引进国外的产品、技术、生产线进行消化吸收, 因此反求设计是我国迅速改变技术落后状况, 提高综合设计制造水平的迅捷之路<sup>[2]</sup>。但出于快速应用和短期效应等方面的考虑, 目前反求工程的应用实例大多局限于传统意义上的逆向工程。快速成型方面, 三维重构及快速成型技术的研究文献较多。而实物仿制仅是反求工程的初级阶段, 反求设计中同样需要创新思想。国内对支持创新设计的产品级反求系统研究仍涉足较少。本文从已有产品的三维模型等出发, 以生长型设计理论<sup>[3]</sup>为指导, 应用分解重构原理及广义定位原理<sup>[4-6]</sup>, 将产品向其需求原型进行回溯, 最大程度上支持了基于产品需求原型的后续创新设计, 并针对三维软件 Pro/Engineer 利用 Pro/TOOLKIT 进行二次开发, 从而实现产品反求系统。

## 1 Pro/TOOLKIT及其开发方式

Pro/Engineer 提供了强大的三维几何造型功能, 能够创建出各种复杂的几何零件模型, 其几何模型内核为 ACIS。同时该软件也提供了较为强大的二次开发平台, 其开发工具主要有: 族表工具、用户定义特征工具、J-link、Pro/TOOLKIT 等<sup>[7,8]</sup>。

Pro/TOOLKIT 是 Pro/Engineer 自带的二次开发工具。Pro/TOOLKIT 中向用户提供了大量的 C 语言函数库, 函数采用面向对象的风格。通过调用这些底层函数, 用户能方便而又安全的访问 Pro/Engineer 的数据库及内部应用程序, 进行二次开发, 实现特定功能<sup>[9]</sup>。Pro/TOOLKIT 有两种工作模式, 同步模式和异步模式, 同步模式又分为动态连接模式 (DLL 模式) 和多进程模式 (Multiprocess Mode)。综合考虑本系统开发采用动态连接模式进行反求系统开发。

① 基金项目: 菏泽学院科研基金项目(XY10JS01)

收稿时间: 2010-09-30; 收到修改稿时间: 2010-10-31

## 2 生长型设计相关理论

### 2.1 分解重构

新产品的的设计过程是一个分解重构的过程, 同样, 在已有产品反求基础上的创新设计也是一个分解重构的过程。首先将功能原型分解为多个功能元, 然后重构为新产品, 如图 1 所示。功能元是指从功能和定位的角度出发, 从能实现相同功能的不同零部件中抽象出, 由一组功能表面组成的, 集功能、结构于一身的几何模型。

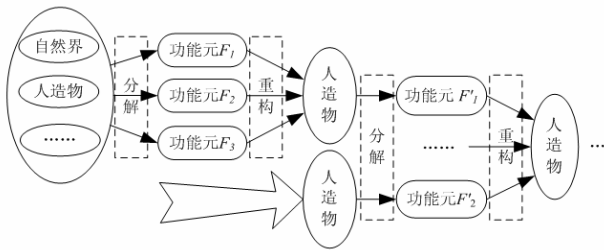


图 1 分解重构原理图

设产品 A 功能结构为  $A^0$ , 功能原型为  $F_A$ , 结构原型为  $S_A$ , 有  $n_A$  个功能元,

$$F_A = \{F_{A_i} | i=1, 2, \dots, nF\} \quad (1)$$

$$S_A = \{S_{A_i} | i=1, 2, \dots, nS\} \quad (2)$$

$$A = \sum_{i=1}^{n_F} F_{A_i} \sum_{j=1}^{n_S} S_{A_j} \quad (3)$$

$\Psi$  为功能进化规则, 若功能元  $F_i$  对最终进化产品 X 有效, 则  $F'_i = \Psi(F_i) \neq 0$ , 否则  $\Psi(F_i) = 0$ 。对现有产品 A、B、...、有

$$X^0 = \sum_{i=1}^{n_X} F_X S_X = \Omega \cdot \left[ \sum_{i=1}^{n_A} (F'_{A_i} S'_{A_i}) \oplus \sum_{i=1}^{n_B} (F'_{B_i} S'_{B_i}) \oplus \dots \right] \quad (4)$$

其中,  $\Omega$  为知识规则原理,  $\oplus$  为耦合作用, X 为新产品。

### 2.2 功能表面

功能表面作为承载功能与结构信息的载体, 它作为在设计各个阶段的功能—结构映射提供了物质上的基础。作为具有明确功能概念的最小几何单位, 功能表面具有几何表面与功能的双重属性, 在设计过程中充当了抽象概念直观表达的媒介。本文将功能表面作为功能与结构的中间媒介, 使传统的映射方式(功能—结构), 转化为新的映射模式(功能 F—功能表面 FS—结构 S), 从而实现了功能—结构的二位一体。其目的是实现由功能到结构的稳定映射关系, 由此提高计算机的

产品结构设计自动化水平。根据功能表面作用的不同, 又将功能表面分为定位表面和使定表面, 如图 2 所示。

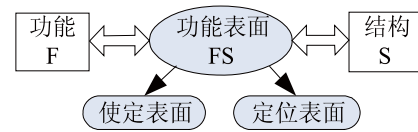


图 2 功能表面模型

在产品信息组织方法上, 本文基于功能表面设计了三层的信息模型, 用来表达功能零件之间的定位、公差等约束关系。

### 2.3 广义定位原理

可以采用非传统机械元素接触限位的方法实现人造物定位, 称为广义定位 (GP) 方法。例如: 摩擦力定位: 部分自由度是由摩擦力限制; 变形表面定位: 定位表面可以通过变形完成和解除定位功能; 非接触力定位: 靠重力、电磁力等完成部分自由度的消除。

产品广义定位 指所有成员零件达到广义定位而保证产品整体的广义定位。假设一个产品 A 是由 N 个零件组成, 即:

$$A = \{A^i | i=1, 2, \dots, N\} \quad (5)$$

A 的定位指其中每个零件都定了位:

$$GP(A) = \sum_{i=1}^N GP(A^i) \quad (6)$$

广义定位传递特性 (定性): 如果  $GP(A, B)$ , 并且  $GP(B, C)$ , 则  $GP(A, C)$ 。

当一个新零件生成并定位在任一零件上, 或定位装配体的多个零件上, 则根据广义定位传递特性, 原装配体保持定位状态。因此, 零件广义定位是产品达到最终设计状态的一个非常重要的综合约束条件。

### 2.4 产品结构生长型设计

生长型概念设计采用-Top-Down 设计方式, 在装配层次上进行产品建模。采用“功能表面—功能模式—产品概念结构”三级模型, 实现产品关系的完善表达。设计过程类似于生物个体生长过程, 而设计行为则可看作为的设计状态转换过程。功能原型在工作原理集、功能约束集和环境约束集的作用下, 不断的变换着状态, 当前状态与前一状态的关系可用公式描述为:

$$FS(i+1) = \langle P(i), F(i), E(i) \rangle \langle FS(i) \rangle \quad (7)$$

式中, P(i) —工作原理集; F(i) —功能约束集; E(i) —环境约束集, 包括制造约束、使用约束等。

联系这些状态的就是功能表面不断的分解, 最后得到的设计状态就是由功能表面及其配合关系表达的, 我们称其为概念结构模型, 如图3所示。

在这个模型中, 功能分解和概念结构的建立是并行的, 有一个功能要求就有特定的结构与之相对应。因此一开始的总功能也对应着一组功能表面, 我们称之为功能原型, 总功能分解为分功能的同时, 功能原型也分解出了相应的执行件模式, 当分功能分解为基本的行为动作时, 从执行件上相应的“生长”出传动件模式和定位件模式。这些零件模式的生长与上级模式对下级模式的要求, 基本运动行为, 模式间的相互影响, 使用环境要求, 制造工艺要求都有关系。

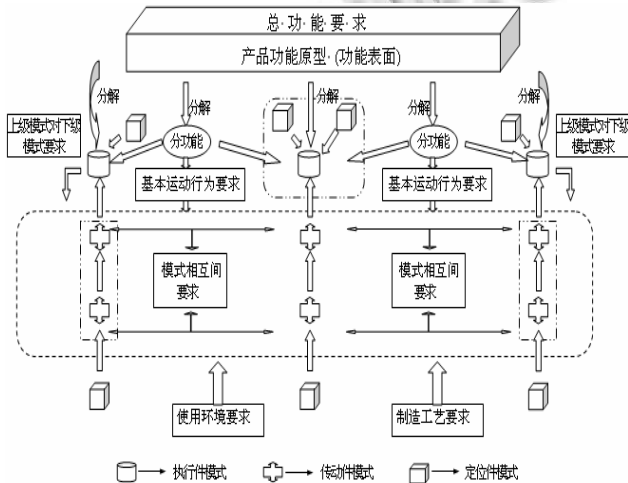


图3 概念结构生长型设计过程模

基于生长型设计的思想, 本文应用三维造型软件 Pro/Engineer 开发了支持自顶向下设计的产品反求系统。从产品的结构重构到产品的原型反求再到产品创新设计, 系统提供了一条基于生长型设计思想的实用设计技术途径。

### 3 产品原型反求

对产品功能原型和需求原型的反求是产品反求系统中最为重要的环节, 反求过程即是生长型设计的回溯过程, 通过产品向功能元的分解、功能元的耦合来实现。首先对产品的三维模型进行功能原型提取, 并

在功能零件分析的基础上分解出功能元(执行功能元、结构功能元、传动功能元、源功能元); 然后经过使定表面与定位表面的相互消融将两个配合零件耦合, 依次进行从而最终得出产品的需求原型。

#### 3.1 功能原型反求

功能原型的提取是将提取零件实体上的功能表面 ( $\psi(F_i) \neq 0$ ), 从而将产品的各个功能元分解下来, 而非功能表面 ( $\psi(F_i)=0$ ) 去除。形成源动功能元  $\rightarrow$  传动功能元(可以多级传动  $\rightarrow$  执行功能元, 结构功能元起紧固、联接作用的功能原型, 各个功能元之间均满足广义定位。

#### 3.2 功能原型反求在 Pro/TOOLKIT 中算法

通过对产品的实体模型进行配合关系的搜索算法, 可以反求出产品的功能结构模型。如图4所示, 首先指定产品的某个零件的实体 BodyI 作为搜索起点进行配合关系网络的递归搜索算法。系统开始在所有零件实体列表 BodyList 中进行搜索, 并将搜索到的与 BodyI 有配合关系的零件实体记录在 FitBodyList 中。然后以获得 FitBodyList 中第 j=1 个零件 BodyJ 为搜索进行下一轮搜索, 直至与最初指定的 BodyI 具有配合关系。

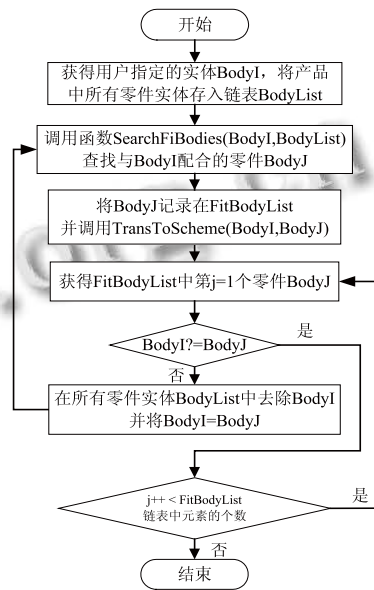


图4 功能结构反求流程图

判断实体 BodyI 和 BodyJ 是否存在配合关系的方法如图5所示, 逐个将 BodyI 中的表面链表 face\_list 中的表面与 BodyJ 中的所有表面逐个判断其位置关系, 如 BodyI 中的表面 ff1 与 BodyJ 中的表面 ff2 表面

类型及法矢相同，并且存在重合区域（本文中并未考虑低副连接），则这两个表面为配合关系。如 BodyI、ff1、BodyJ 和 ff2 都为第一次在产品中出现，则在产品功能结构中创建新的零件节点、功能表面节点及功能表面关系节点。如果已经出现过，则在链表中追加节点或覆盖重复的节点。

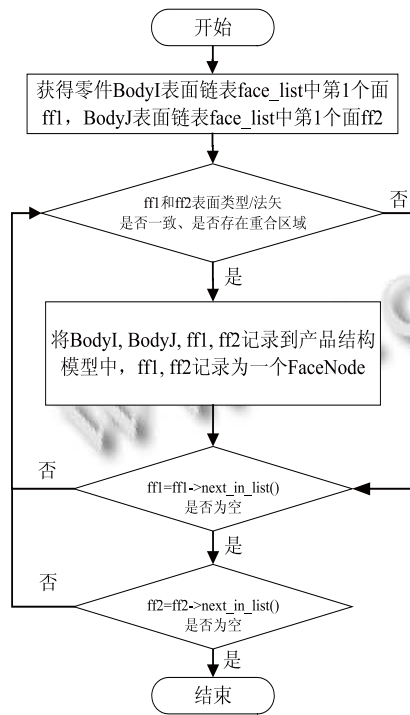


图 5 配合判断流程图

### 3.3 需求原型反求

在生长型设计中使用了版本控制的方法，第  $i$  步生长的零件中所有表面版本号标记为  $i$ ，由于一般生长一次增加一个零件，因此版本号一般与产品中的零件数相等。在选择第  $i$  版本的产品方案时，所有版本号大于  $i$  的表面将不会显示。通过控制版本的递增，可以直观的了解产品结构的生长过程。在产品的回溯中保留了版本控制的方法，这和 Pro/Engineer 中文件保存一次产生一个版本相一致，该步骤的实现可以通过调用保存命令即可实现此功能。

产品中装配好的两个相邻零件 A 与 B，必然存在成对的功能表面——使定表面  $x$  与定位表面  $y$ ，作为单独的零件，有  $\psi(F_x) \neq 0$ ， $\psi(F_y) \neq 0$ ；而对于部件 AB，则有  $\psi(F_{xy}) = 0$ ，此时通过使定表面与定位表

面的消融将功能元 A、B 耦合为新的功能元 AB。

$$A^0 = \sum_{i=1}^n (FS)_{Ai} \tag{8}$$

$$B^0 = \sum_{i=1}^n (FS)_{Bi} \tag{9}$$

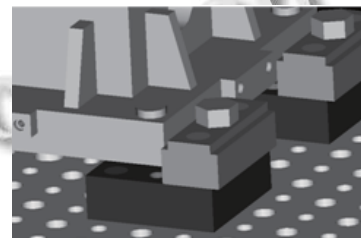
$$(AB)^0 = \left[ \sum_{i=1, i \neq x}^n (FS)_{Ai} \oplus \sum_{i=1, i \neq y}^n (FS)_{Bi} \right] \tag{10}$$

产品需求原型的反求通过配合零件的耦合实现，选取某两个零件 PartI 和 PartJ 后，执行如下步骤：

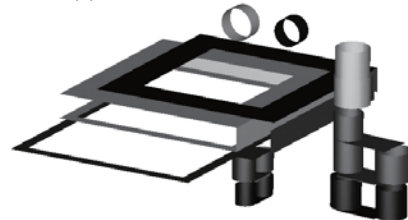
- 1) 搜索 PartI 和 PartJ 的配合表面；
- 2) 将产品的中的零件数作为所有配合表面的版本号；
- 3) 将 PartJ 中所有剩余功能表面转移到 PartI 的表面链表中，并改变为 PartI 中表面的颜色；
- 4) 在产品结构的零件链表中删除 PartJ 节点。

重复执行零件的耦合过程即可实现需求原型的反求。在得到产品的需求原型后，在系统中进行基于功能表面分解重构原理的正向生长型设计，此时的设计为完全自顶向下。可以结合其他具体设计方法实现对产品结构的创新设计。

## 4 实例



(a) 夹具原型三维建模



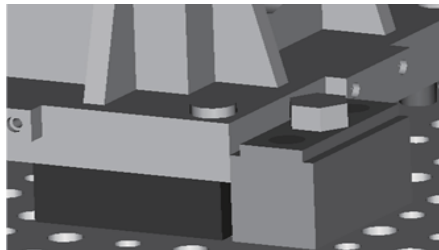
(b) 夹具原型功能反求

图 6 组合夹具功能原型

如图 6(a)中所示是由 Pro/Engineer 按照现有组合夹具体模型进行建模，运行程序提取其功能原型如

图 6(b)所示,然后通过相邻功能元之间的耦合进行回溯。

最终得出原始的需求原型,在此基础上进行生长型设计得出另两种夹具结构方案,如图 7 所示。同样根据功能原型可得到更多的设计方案。然后可结合系统的力学综合等模块以及制造工艺的知识原理进行评价选出最佳方案。



(a) 反求夹具结构一



(b) 反求夹具结构二

图 7 反求后新型组合夹具

## 5 总结

Pro/Engineer 作为当今三维建模软件的优秀代表,其参数化造型及统一数据库的建模思想为机械结构设

计带来了巨大的方便。同时利用其支持自定向下的概念设计,可以进一步提高设计的效率。其自带 Pro/TOOLKIT 开发接口为设计者提供了开发平台,在此基础上结合功能表面、分解重构原理、广义定位原理,开发了产品结构生长型设计理论的产品反求系统,从而为产品的创新设计提供一条实用的技术途径。

## 参考文献

- 1 刘影,杭九全,万耀青.反求工程与现代设计.机械设计,1998,15(12):1-4.
- 2 杨铁牛.面向逆工程的原始设计参数还原的研究与实践[博士学位论文].西安:西安交通大学,2000.
- 3 曹树坤.机械产品概念结构生长型设计力学综合技术研究[博士学位论文].济南:山东大学,2002.
- 4 杨志宏.产品公差与概念结构同步综合进化设计理论与技术研究[博士学位论文].济南:山东大学,2003.
- 5 黄克正,艾兴,张承瑞.复杂曲面的分解重构原理及其应用.中国科学 E 辑,1997,27(1):89-96.
- 6 陈洪武,黄克正,杨波.基于功能表面的产品结构自动化研究与实现.机械设计与研究,2004,20(3):24-27.
- 7 吴立军,陈波.Pro/Engineer 二次开发技术基础.北京:电子工业出版社,2005.
- 8 张继春.Pro/Engineer 二次开发实用教程.北京:北京大学出版社,2003.
- 9 李剑峰,陈建,李方义.Pro/TOOLKIT 技术及其在 Pro/Engineer 二次开发中的应用.网络与信息化,2003,(5):39-43.

(上接第 51 页)

on Enabling Technologies Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE'02). 2002.

2 李昆仑,黄厚宽,田盛丰,等.入侵检测的 1 类支持向量机模型.中国安全科学学报,2003,13(6):72-75.

3 Goldberg D. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. New York: Addison-Wesley, 1989.

4 Han J, Kamber M. Data Mining: Concepts and Techniques. San

Francisco CA: Morgan Kaufmann, 2001.

5 闻新,周露,王丹力.神经网络应用设计.北京:科技出版社,2001.172-158.

6 杨平,郑金华.遗传算子的比较和研究.计算机工程与应用,2007,43(15):59-65.

7 Dudaro, Hart PE, Storkdg. Pattern Classification. 2nd Ed. New York:Wiley, 2001. 311.