

# 基于行为语义知识模型的产品功能基因建模

郝泳涛<sup>1</sup>, 信 诚<sup>1</sup>, 楼狄明<sup>2</sup>

(1. 同济大学 CAD 研究中心, 上海 201804; 2. 同济大学 汽车学院, 上海 201804)

**摘要:** 通过对产品功能描述方式、行为语义和二者之间关系的深入研究, 得到行为语义表达模型. 在产品功能和几何特征合理分解的基础上, 应用已建立的行为语义表达模型及其数学映射规则, 建立新型的产品功能和几何特征的描述框架方案. 结合功能树标记语言(FTML)和语义网络, 得出具体明晰的产品功能表述方式, 研究矩阵对功能特征树的提取及抽象, 以及 FTML 对语义网络的表述, 设计出矩阵和已有的产品功能表述方式之间的置换算法; 在已有的置换算法和功能表述方法的基础上, 得出产品功能的实例推理算法及进化设计方法.

**关键词:** 功能; 行为; 功能模型; 基因编码; 语义网络

**中图分类号:** TP 391.7

**文献标识码:** A

## Product Gene Model Research Based On Function and Behavior Semantic Network

HAO Yongtao<sup>1</sup>, XIN Cheng<sup>1</sup>, LOU Diming<sup>2</sup>

(1. CAD Research Center, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2. College of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** With the goal to achieve the behavior semantic model of product, an analysis was made of the method of describing functional expression, as well as the behavior semantic. Based on the reasonable disassembly of function, along with geometrical character, a new describing scheme for product was described. Combining with XML and semantic network, we get the legible and concrete way to describe product function. Through a profound research with the constitution of functional matrix and the way of using FTML to describe semantic network, we design the algorithm of conversion between FTML and function matrix. On the basis

of the research, a new way of case-based reasoning and evolution design is obtained.

**Key words:** function; behavior; function model; gene coding; semantic network

近年来, 随着人工智能不断引入到设计领域, 产品设计逐步朝着智能化的方向发展, 对智能设计的研究也越来越受到人们的关注. 智能设计主要包括两大任务: 第一, 建立设计知识模型; 第二, 开发计算机软件系统来实现这一模型. 知识建模是智能设计的基础和关键. 针对功能设计知识和设计对象知识, 笔者提出了基于基因编码的功能建模方法, 并在此编码基础上运用 XML 语言和矩阵, 表述建立产品零件的进化推理算法.

## 1 产品功能模型

### 1.1 产品功能的定义

如何合理地表达产品的功能是产品设计的第一步. 功能的表达与功能的定义密切相关, 不同的定义导致不同的表达. 由于功能是一个比较主观的概念, 至今还没有一个完全统一的定义. 研究发现, 功能的定义可归纳为以下三点<sup>[1]</sup>: ① 功能用途观点; ② 系统观点; ③ 行为观点.

对比上述三点后发现, 行为观点易于在进化算法和基因编码上应用. 因为, 在这种观点下, 功能更利于被归纳和抽象, 更有利于以编码的方式表达. 以此为基础, 下面给出功能的理论定义.

收稿日期: 2008-09-22

基金项目: 上海市信息化专项资金资助项目

作者简介: 郝泳涛(1973—), 男, 副教授, 工学博士, 主要研究方向为企业信息集成系统、知识处理与挖掘、智能设计、分布式智能系统、虚拟现实技术等. E-mail: haoyt@vip.sina.com

信 诚(1982—), 男, 硕士生, 主要研究方向为智能设计、虚拟现实技术、企业信息化. E-mail: adjustany@gmail.com

楼狄明(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为发动机设计开发机理与设计平台、发动机性能优化与替代燃料等. E-mail: loudiming@tongji.edu.cn

**定义 1** 功能: 在外部物理实体驱动下一系列的零件行为产生的结果。

## 1.2 产品功能的原语——行为语义词

在详细设计的过程中, 设计人员很难对产品零件之间的功能性关系进行说明. 因此, 为了有效地描述功能, 定义了 8 个行为语义词, 分别为: 咬合 (snap), 连接 (contact), 平移 (translatory), 旋转 (rotary), 固定位置 (fix), 覆盖 (house), 装配条件 (assembly), 润滑 (lubrication). 具体的定义如下:

### 定义 2 行为语义词

① 咬合: 上下几何体或几何面咬合接触在一起形成的接触关系; ② 连接: 2 个或多个几何面的结合与相连关系; ③ 平移: 几何体从坐标系的初始位置移动到终点位置; ④ 旋转: 几何体绕坐标系内的某一点或某一支线转动; ⑤ 固定位置: 零件被固定于坐标系的某一确定位置, 此位置坐标不改变; ⑥ 覆盖: 描述 2 个或多个零件的位置关系, 其中在法线轴的方向上, 1 个零件位于其他几个零件之上, 并且其与法线轴垂直的几何面面积最大; ⑦ 装配条件: 描述零件在装配过程中的各种状态, 如永久性或暂时的; ⑧ 润滑: 描述连接 2 个或多个几何体的中间媒介和各种连接条件。

行为语义词作为构成产品功能的最基本成分, 通过不同的组合方式构成不同功能. 如图 1, 将 2 个连接在一起的圆柱体绕它们中心轴旋转的功能定义为“同轴转动”. 在这个部件中, 可看到以下功能性关系: ① 2 个圆柱体接触的独立面之间的关系; ② 绕同心轴旋转的动力描述. 相应地, 在部件功能模型中, 用行为代替功能性关系来描述功能. “同轴转动”功能可被“连接”和“旋转”这 2 个行为合理地表达, 这 2 个行为分别描述上面提到的 2 个功能性关系。

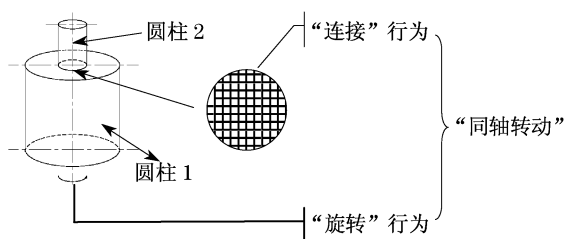


图 1 行为构成功能示意图

Fig.1 Behavior-function schematic diagram

## 1.3 行为语义词的数学表达模型

为便于在进化算法中表述功能和行为语义词, 建立一个多元组表达模型来数学化地表述行为语

义词。

在三维空间内, 产品特征的几何信息是以已设定的坐标轴为基础描述的. 故提出了一个三维自由度直角坐标系, 三个自由度方向轴分别为法线轴、横向轴以及纵向轴。

功能模型中的行为都可以用零件沿着这三个自由度方向轴的部件运动和动力传递以及它们的组合来表示. 在此基础上, 定义一个 6 元组来表示行为, 即  $\{K_n, K_t, K_l, F_n, F_t, F_l\}$ . 其中,  $K$  是代表零件的部件运动,  $F$  代表零件的动力传递, 下标  $n, t, l$  分别表示法线轴、横向轴和纵向轴, 故  $K_n, K_t, K_l, F_n, F_t, F_l$  分别表示所描述的行为在沿着法线轴、横向轴和纵向轴方向上的部件运动和动力传递的自由度约束取值. 当某个方向轴上有部件运动或动力传递时, 取值 1, 否则就设为零。

以上可以看到, 如果 2 个产品行为数学模型是一致的, 这 2 个行为就是同 1 个行为. 同 1 个行为也可以作用在不同几何特征的零件约束面上. 如图 1 中的旋转行为, 可以是圆柱体的绕轴旋转, 也可以是 1 个球体绕固定的 1 个轴旋转, 在哪个面上旋转是不固定的. 所以, 如对行为在空间域内约束, 对行为所作用的几何特征面也要制定出一套规则来约束. 定义 1 个 FSet 位, 表示行为所作用的几何特征面. FSet 是由 3 个二进制编码位构成的表示位. 沿着法线轴的几何面用 001 来表示, 沿着横向轴的面用 010 来表示, 把沿着纵向轴的面用 100 表示, 最后, 如果行为对任何几何面产生作用, 就把 FSet 设为 000. FSet 位可以通过二进制编码或运算来表示对几何面的融合, 即如果一个几何面是由横向轴和纵向轴确定, 那么, 可以将 FSet 设置为 110。

可以用“IF<condition> THEN <action>”的形式, 建立一张行为规则映射表, 将 8 个行为语义词和它们的数学表达模型一一对应。

润滑、咬合、连接、装配条件这 4 个行为语义词在  $n, t, l$  轴方向上的部件运动及动力传输的自由度约束都为 0, 所以, 以辅助区别符来说明区分. 1 表示润滑, 2 表示咬合, 3 表示连接, 装配条件中 4 表示永久装配, 5 表示非永久装配。

## 1.4 产品功能模型的建立

### 1.4.1 确定总功能

分析用户提出的功能要求, 抓住总设计任务的核心, 得出产品的设计需求. 通过对设计需求的分析

与总结,建立产品的需求模型.从需求模型出发,利用“黑箱法”抽象出此产品的总功能.

表1 行为映射规则表

Tab.1 Behavior mapping rule table

行为类别	方向描述符	运动及动力自由度						辅助区别符
		$K_n$	$K_t$	$K_l$	$F_n$	$F_t$	$F_l$	
平移	001	1	0	0	1	0	0	0
	010	0	1	0	0	1	0	0
	100	0	0	1	0	0	1	0
旋转	000	1	1	0	1	1	0	0
	000	1	0	1	1	0	1	0
	000	0	1	1	0	1	1	0
连接	011	0	0	0	0	0	0	3
	101	0	0	0	0	0	0	3
	110	0	0	0	0	0	0	3
覆盖	001	1	0	0	0	0	0	0
润滑	011	0	0	0	0	0	0	1
	101	0	0	0	0	0	0	1
	110	0	0	0	0	0	0	1
咬合	111	0	0	0	0	0	0	2
固定位置	001	0	0	0	1	0	0	0
	010	0	0	0	0	1	0	0
	100	0	0	0	0	0	1	0
装配条件	001	0	0	0	0	0	0	4或5
	010	0	0	0	0	0	0	4或5
	100	0	0	0	0	0	0	4或5

#### 1.4.2 分解总功能

一般情况下,要实现总功能需要比较复杂的技术系统,因而难以直接求得满足总功能的原理解,所以,需要将总功能分解为若干简单的、较小的子功能,从而将复杂的问题分解为可求解的简单问题,并通过对简单子功能问题的求解和对这些解的有机组合,求出总功能的解.

功能分解的方法很多,在面向已有产品创新设计或反求工程概念设计的问题中,有功能分析系统技术(functional analysis system technique, FAST)<sup>[2]</sup>,后经许多学者的研究和发展,逐渐形成了比较成熟的功能分解方法,还有公理设计中的功能分解方法.在面向全新产品设计的功能分解中,有功能方法树和F-B-S功能分解方法等.无论功能方法树还是F-B-S功能分解方法,都可用于建立功能模型.但它们都存在功能分解粒度问题,即何时停止分解、得到功能元,没有一个明确的标准<sup>[3]</sup>.

功能和特征之间为多对多的映射关系,而功能分解粒度越小,功能特征关系就越复杂.所以笔者认为,使用功能原理求解判断和功能特征映射判断双

重判断来进行功能分解,不仅可以及时终止功能的过细分解,还可以从功能分解中直接得到从功能到特征的映射.具体做法见图2.

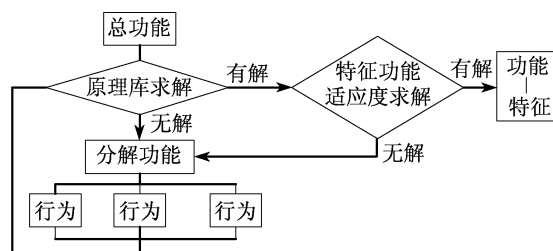


图2 功能分解流程图

Fig.2 Function decomposition flow chart

原理库<sup>[4]</sup>是存储实现功能的物理原理库,用以在功能到功能原理求解的过程中开阔设计者的思路,求得功能原理解.原理库求解判断是分析当前的功能,根据原理库中的物理原理,判断功能是否存在原理解,若有,则进行功能特征映射判断;若没有,则需要进一步分解此功能.功能特征映射判断是在功能存在原理解的基础上进行功能到特征的映射.当功能特征映射不成功时,需要继续分解此功能;否则得到功能的映射特征,结束功能分解.此时得到的子功能就是产品的行为功能原语——行为<sup>[5]</sup>.在系统的不断使用中,可以不断地添加、充实原理库和特征库,不断扩大基础知识的内容.

通过以上的分解方法,最终得到图3形式的功能分解树<sup>[6]</sup>.

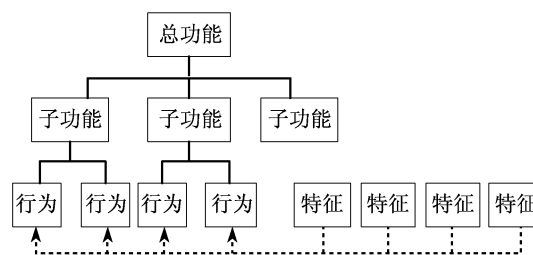


图3 功能分解树

Fig.3 Function decomposition tree

## 2 功能模型的基因编码

### 2.1 产品基因、功能基因与生物基因的对比

由生物遗传学可知,生物基因是由4种脱氧核糖核酸(A,G,T,P)反复排列构成的序列.这在形式上和产品基因的构成明显不同.如前所述,产品基因是由功能基因和几何特征组成.与脱氧核糖核酸的种类相比,产品基因中的几何特征的种类要远远多

于脱氧核糖核酸的种类.并且,一个产品基因中的几何特征一般不会自相重复.

但是,如果把产品基因的载体由文字转为计算机中的二进制表达,把染色体的脱氧核糖核酸序列理解成为一种类似于四进制的表达,那么,产品基因的概念与生物基因的概念之间就有了可类比性<sup>[7]</sup>,如图4所示.从图中可以看出,产品基因其实指的是产品部件及其集合的可遗传的功能性信息和相关的几何特征信息.

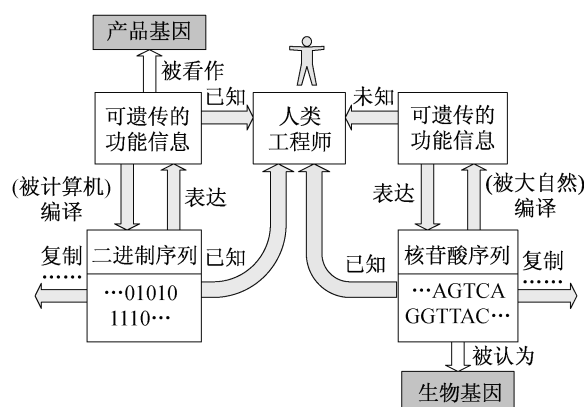


图4 产品基因和生物基因的概念对比

Fig.4 Comparison between product genes and biology genes

## 2.2 功能模型基因编码的具体描述

如同4种脱氧核糖核酸(A,G,T,P)在基因中的作用一样,1.2节中提到的8个行为语义词也是构成功能模拟功能基因的最基本成分.因此,首先定义行为语义词的集合.

**定义3** 行为语义词的集合  $B = \{[FSet, K_i, S_j], K_i \in K_{FD}, S_j \in B_{sp}, i = 1, \dots, 8, j = 1, \dots, 5\}$ . 其中:  $K_{FD}$  是行为的部件运动和动力传输的自由约束度(kinematic and force dof);  $B_{sp}$  是附加说明符.

有了行为的描述方式再加上行为所作用的几何特征,就可以比较完整地描述特定部件的行为了.因此,特定部件的行为定义如下:

**定义4** 特定部件行为的基因编码信息集  $G_{cl} = \{[b_i, U_c(b_i)], b_i \in B, i = 1, \dots, 8\}$ . 其中,  $U_c(b_i)$  是行为所作用的几何特征.

特定部件行为的不同组合构成了不同的产品功能,因此,功能的基因编码也就是由特定部件行为的编码信息组合而成.其形式如下:

**定义5** 功能的基因编码  $F = f(G_1, G_2, \dots, G_m)$ , 其中,  $G_1, G_2, \dots, G_m \in G_{cl}$ ,  $m$  表示该功能或子功能由  $m$  个特定部件行为组合而成.

## 3 功能元矩阵及功能特征树标记语言对产品功能的描述

### 3.1 功能语义网络的形成

2.2节中虽然给出了功能基因编码的定义,但具体描述方式还没有确定.这种描述方式当然不能仅仅只是简单的排列.考虑到XML语言对树形结构描述的方便以及矩阵处理编码结构的有效,采用功能元矩阵结合类XML语言的描述方法来描述功能基因编码.而建立产品功能的语义网络是实现描述方式的基础.

在1.4节中提到功能分解的方法有很多,其中Zigzag方法是Suh在公理化设计理论中提出的一种功能结构设计方法,并得到国内外学术界的广泛认可,是一种典型的认知模型<sup>[8]</sup>.借鉴Zigzag方法,将产品信息分成两棵特征树——功能特征树和几何特征树来描述.应用这两种方法,不仅能将产品信息合理分解为功能信息和几何特征,还能使功能信息和几何特征之间反复映射而生成产品功能结构.见图5.

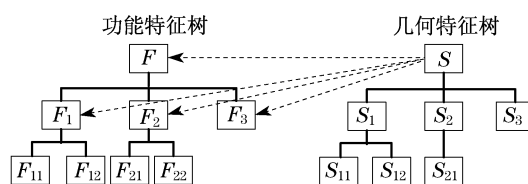


图5 功能特征树和产品特征树的映射

Fig.5 Mapping between function feature tree and product feature tree

在功能特征树和几何特征树及其之间的映射形成之后,提取两树的信息.两树的叶子节点都是不能再分解的最基本信息,这些叶子节点分别叫做功能元和几何结构元.这些功能元和几何结构元之间的映射连接形成整个产品的总体功能.可以运用语义网络<sup>[6]</sup>来描述两树中最基本信息之间的映射关系,即功能元和几何结构元之间的映射连接.

例如,依据产品内在的功能和几何结构联系,图5中的功能特征树和几何特征树的基本信息映射可转换为语义网络,如图6所示.

在图6中,圆形图标表示功能元,方形图标表示几何机构元,而箭头则表示在功能驱动几何结构的关系下,功能元到几何结构元的映射.

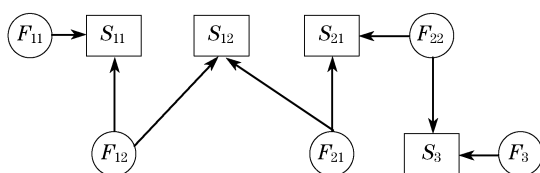


图6 产品功能语义网络

Fig.6 Product function semantic network

### 3.2 功能元矩阵表示语义网络

对于功能特征树和几何特征树的基本信息映射转换为的语义网络,可以用一个三元组来表示:  $N = (F, S, T)$ , 其中,  $S \cup F \neq \emptyset$ ,  $S \cap F \neq \emptyset$ ,  $T \subseteq (F \times S)$ . 这样的语义网络可以转化为  $n$  行  $m$  列的矩阵. 定义这个矩阵为功能元矩阵:  $A = [a_{ij}]_{n \times m}$ . 其中,  $|F| = n$ ,  $|S| = m$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $j \in \{1, 2, \dots, m\}$ .

$$a_{ij} = \begin{cases} B_{in,i}, & (F_i, S_j) \in T \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

例如,图6中的语义网络可以转化为5行4列的功能元矩阵.具体表述如下:

$$\begin{matrix} & S_{11} & S_{12} & S_{21} & S_3 \\ \begin{matrix} F_{11} \\ F_{12} \\ F_{21} \\ F_{22} \\ F_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} B_{in,1} & 0 & 0 & 0 \\ B_{in,2} & B_{in,3} & 0 & 0 \\ 0 & B_{in,4} & B_{in,5} & 0 \\ 0 & 0 & B_{in,6} & B_{in,7} \\ 0 & 0 & 0 & B_{in,8} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

其中,  $B_{in,i}$  表示特定部件的行为信息,内容形式为  $\langle \text{name}, G_{CI} \rangle$ . name 为行为及几何特征名的联合,例如,  $B_{in,1}$  的 name 为  $F_{11} S_{11}$ , 而  $G_{CI}$  则是对应的特定部件行为的基因编码信息(gene code information).

### 3.3 功能特征树标记语言

功能的描述方法归结为两类:一类是对功能信息内容的规范,所有功能都是可用功能元表示的,实际上是对功能抽象建模;另一类是对功能表示方法的规范,定义语言表示格式,建立形式上的统一.

在已建立的功能特征树和产品功能语义网络的基础上,结合上述两类功能描述方法,可以给出完整清晰的产品功能描述语言.

首先,运用基因建模的方法对功能元抽象建模,从而设计出相应的功能基因编码,即 gene code information(GCI). 然后,结合功能树的树形结构和对几何特征树的映射,运用 XML 语言来表述该产品的总体功能.如图5中功能特征树的 XML 表述为:  
 $\langle \text{Function FunId} = "F", \text{StructureId} = "S" \rangle$

```

<Function FunId = "F1", StructureId = "S1">
  <Behavior FunId = "F11", StructureId =
    "S11">
    Gene Code Information(GCI)
  </Behavior>
  <Behavior FunId = "F12", StructureId = "S11",
    StructureId = "S12">
    GCI
  </Behavior>
</Function>
<Function FunId = "F2", StructureId = "S1",
  StructureId = "S2">
  <Behavior FunId = "F21", StructureId = "S12",
    StructureId = "S21">
    GCI
  </Behavior>
  <Behavior FunId = "F22", StructureId = "S21",
    StructureId = "S3">
    GCI
  </Behavior>
</Function>
<Behavior FunId = "F3", StructureId = "S3">
  GCI
</Behavior>
</Function>

```

定义这种表述产品功能的语言为功能特征树标记语言: function tree markup language——FTML.

功能元矩阵和 FTML 之间可以相互置换. 在进化设计的运算阶段,用功能元矩阵来表述产品功能是比较方便的,而 FTML 在显示产品功能结构上具有优势. 二者之间的相互置换就可以使产品功能的基因编码在不同阶段得到相对合理的表述.

## 4 基于 FTML 和功能元矩阵的产品实例推理及进化算法

在有了功能模型的基因编码后,可以运用产品实例推理算法,对已有的产品实例提升和改进<sup>[9]</sup>. 同时,由于从产品的功能模型设计开始就运用了基因模型,可以设计适合产品功能的遗传算法来对产品迭代进化,从而实现产品的创新设计<sup>[10]</sup>.

首先,运用产品实例推理算法产生出为以后进化迭代所需的初始功能种群.根据产品功能大致需求,可以给出表述这种功能需求的语义网络,进而得到初步的描述产品功能的 FTML 文档.在算法 (FTML→功能元矩阵) 及其求逆算法的基础上,设计出用 FTML 和矩阵对初步描述的产品功能进行推理及迭代的算法.这种算法的大致流程图如图 7 所示.

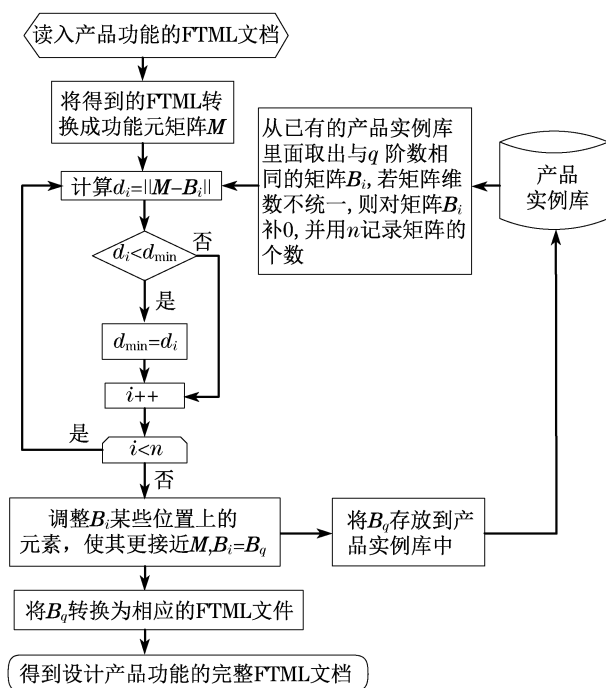


图7 基于 FTML 和矩阵的产品推理及迭代算法流程

Fig.7 Flow chart of product reasoning and iterative algorithm based on FTML and matrix

在获取了功能元矩阵  $B_m$  及其 FTML 文档后,可以将  $B_m$  作为初始功能种群对其迭代进化.对产品功能的进化,主要采用了遗传算法.运算步骤如下:

(1) 初始化.确定遗传算法的参数,如遗传代数  $T$ ,种群数量(总功能中的行为个数)  $q$ ,交叉概率  $P_c$ ,变异概率  $P_m$  等;确定初始功能元矩阵  $B_m$ .

(2) 适应度计算.在遗传算法中,适应度  $F_s$  是评判个体优劣的重要指标.在这里,采用式(1)表达部件或部件组合对功能的适应度

$$F_{s,i}(F_n(M_1, M_2, \dots)) = F_m \quad (1)$$

式中:  $F_{s,i}$  表示第  $i$  个功能的适应度,  $F_m$  表示功能的内容,由  $M_1, M_2$  等一个或多个部件组合完成.这类专家知识总结较方便,易于表达和形成原理库.

总功能的整个编码适应度相对于各子功能适应

度按式(2)计算

$$F_s = \sum_{i=1}^n (F_{s,i} W_i) / \sum_{i=1}^n F_{s,i} \quad (2)$$

(3) 生成新一代群体.对当代群体  $P(t)$  通过选择算子、交叉算子、变异算子等算子的操作,生成新一代群体  $P(t+1)$ .具体说明如下:

选择算子——遗传算法通过选择算子来实现对群体中的个体优胜劣汰,适应度较高的个体以较高概率遗传到下一代,适应度较低的以较低概率遗传到下一代,从而促使算法朝着最优解方向前进.

交叉算子——将群体中  $q$  个个体以随机的方式两两配对,组成  $q/2$  对配对个体组,每对配对个体组的个体以某种方式交换其染色体的部分基因,从而产生两个新个体.交叉算子是遗传算法产生新解的主要手段,决定了遗传算法的全局搜索能力.

变异算子——在遗传算法<sup>[11]</sup>中,个体染色体的个别基因座上的基因值发生变化.这是遗传算法过程中产生新个体的辅助手段,决定了遗传算法的局部搜索能力.

(4) 判断群体是否进化到预先指定的代数,或达到预先指定的要求.如果达到,则停止进化,否则转至步骤(3),继续进化.

(5) 解码.当群体进化到指定的代数或达到预先指定的要求时,则对其解码,即由基因型转化为表现型,输出最终结果.

## 5 实例分析

以车床的某个零件为例(该零件要实现的功能是“往复打压”),对该零件进行基因编码,以编码的形式来描述这部分零件所实现的功能.该零件的功能结构图 8 所示.

表 2 为由该零件的功能语义网络所形成的功能元矩阵,给出了各行行为及其所作用于的几何部件,通过不同组合即可形成初始方案个体.限于篇幅,这里就不再给出相应的 FTML 文档.经功能分解后发现,该产品零件总功能共有 5 个行为,分别作用于 5 个几何部件,评价指标简化为满足基本功能指标和成本较低,取交叉率为 0.9,突变率为 0.05,最大进化代数为 200.当群体平均适合度不再增加时,算法结束.图 9 为这个车床零件的生成的设计方案之一.

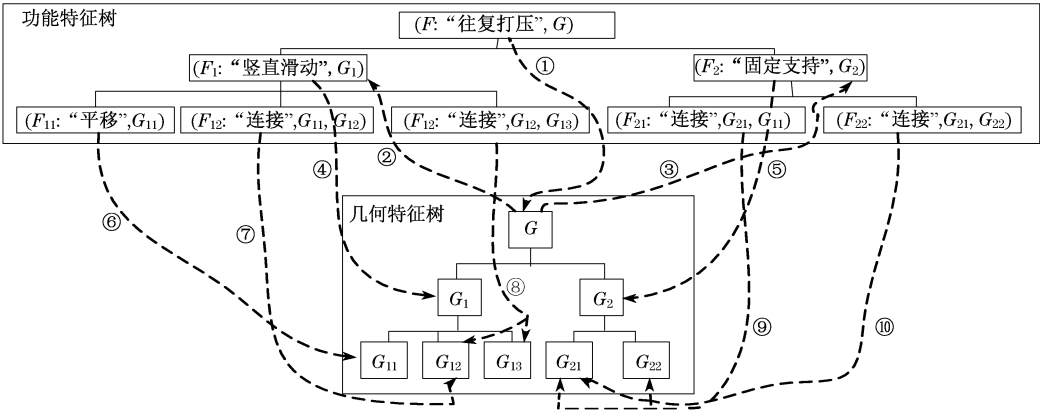


图 8 车床零件的功能特征树和几何特征树的映射关系

Fig.8 Mapping relation chart of function feature tree and geometric feature tree

表 2 车床零件的功能元矩阵

Tab.2 Function unit matrix of lathe components

$F$	$G_{11}$	$G_{12}$	$G_{13}$	$G_{21}$	$G_{22}$
$F_{11}$	$\langle F_{11} G_{11}, 001100100, \text{平面} \rangle$	0	0	0	0
$F_{12}$	0	$\langle F_{12} G_{12}, 110100000, \text{平面} \rangle$	0	0	0
$F_{13}$	0	$\langle F_{13} G_{12}, 011100000, \text{平面} \rangle$	$\langle F_{13} G_{13}, 011100000, \text{平面} \rangle$	0	0
$F_{21}$	0	0	0	$\langle F_{21} G_{21}, 011000000, \text{平面} \rangle$	0
$F_{22}$	0	0	0	$\langle F_{22} G_{21}, 011000000, \text{平面} \rangle$	$\langle F_{22} G_{22}, 011000000, \text{平面} \rangle$

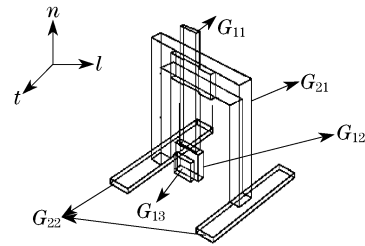


图 9 车床的部分零件

Fig.9 Part of lathe components

6 结语

本文研究了功能的基因编码以及在此基础上对产品的描述方法和推理进化算法,建立了适合于创新设计的功能模型;功能基因编码的研究为功能进化提供了表达的基础,是进一步研究的基础。

参考文献:

[1] HAN Xiaojian, DENG Jiati. Evaluation method for projects of product conceptual design[J]. Jouranal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2000, 26(1): 210.

[2] DONG Yasong, LI Yan, ZHAO Wu, et al. Parsing of functional decomposition methods for mechanical-electronical product creative conceptual design[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 33(1): 47.

[3] 郝泳涛,秦琴. 产品的特征功能表达模型及其基因编码[J]. 同

济大学学报:自然科学版, 2009, 37(6): 819.

HAO Yongtao, QIN Qin. Feature-function expression model and gene coding for products [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2009, 37(6): 819.

[4] Cokun M Z, Baykal O. Functional Models and New Stochastic Model in Combined Leveling Nets[J]. J Surv Engrg, 2002, 128 (4): 168.

[5] HAO Yongtao, Zhao W D, Li Q Y. Pattern knowledge and artificial neural network based framework for intelligent cad system[J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2001, 13(9): 834.

[6] HAO Yongtao, YING Jing. A knowledge-based auto-reasoning methodology in hole-machining process planning[J]. Computers in Industry, 2006, 57(4): 297.

[7] ZHANG Xiangjun, GUI Changlin. Gene models in intelligent computer-aided design [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2001, 37(1): 8.

[8] HAO Yongtao, MA Jingying, LI Qiyan. Auto-reasoning methodology based on knowledge and semantic net in process planning [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS, 2005, 11(10): 1444.

[9] Simon H A. The sciences of the artificial [M]. 3rd ed. Combridge: MIT Press, 1996.

[10] HAO Yongtao. Research on auto-reasoning process planning using a knowledge-based semantic net [J]. Knowledge-based Systems, 2006, 19(8): 755.

[11] 陈国良,王煦法,庄镇泉,等. 遗传算法及其应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996.

CHEN Guoliang, WANG Xifa, ZHUANG Zhenquan et al. Genetic algorithm and application [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 1996.