

# 基于模板重构的小型农业作业机变异设计方法

陆长明<sup>1,2</sup>, 张立彬<sup>1\*</sup>, 蒋建东<sup>1</sup>, 张宪<sup>1</sup>, 胥芳<sup>1</sup>

(1. 浙江工业大学机械制造及自动化教育部重点实验室, 杭州 310014;

2. 浙江机电职业技术学院机械工程系, 杭州 310053)

**摘要:** 小型农业作业机作为典型的小批量多品种产品, 变异设计是降低成本和缩短开发周期的有效途径。针对通过产品的局部变型来满足客户需求的方法可能会导致约束冲突的问题, 提出了基于模板的约束关系重构实现产品变异的设计方法。在已有模板的基础上, 利用超图表示模板的对象属性及其约束关系, 通过模板对象重组和约束规则重构, 形成新的规则数据库, 在新模板的基础上进行具体结构的配置。该设计方法在小型农业作业机的变异设计中的具体应用, 验证了设计方法的可行性。

**关键词:** 农业作业机, 变异技术, 约束原理, 设计模板, 模板重构, 超图

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.10.018

中图分类号: S224, TP391.72

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-10-0101-06

陆长明, 张立彬, 蒋建东, 等. 基于模板重构的小型农业作业机变异设计方法[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 101-106.

Lu Changming, Zhang Libin, Jiang Jiandong, et al. Variational design of small agricultural machinery based on templates reconfiguration[J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(10): 101-106.(in Chinese with English abstract)

## 0 引言

小型农业作业机 (small agricultural machinery, 简称 SAM) 的主要特点是产品批量小品种多, 目前这类产品迫切需要解决成本居高不下, 开发设计周期长的问题。对关键零件进行可重构模块化设计是降低 SAM 产品成本的一条有效途径<sup>[1]</sup>, 研究一种快速设计方法是缩短产品开发周期的一项有效措施, 而建立 SAM 产品客户需求模型<sup>[2]</sup>是实现产品快速设计的基础, 在此基础上, 通过产品的快速配置和局部变型来满足客户的需求。然而在实际操作过程中, 产品的局部变型会导致组成产品的各功能单元之间约束关系的变化, 这些变化有可能会大量的约束冲突, 使设计过程复杂化。为避免产生约束冲突, 一种方法是创建支持快速变型的产品结构模型<sup>[3-4]</sup>, 以结构树的形式表达组成产品的不同层次结构, 确保产品的装配关系和正确的语义表达, 通过模型可将不同子系统的对象之间的约束关系进行集成; 另一种方法是通过以往产品中存在的设计约束信息进行建模, 根据设计需求对约束关系进行进化, 形成新的配置信息<sup>[5]</sup>。这些研究为解决产品配置变型过程中的约束关系冲突提供了

较好的设计思路, 可在 SAM 产品设计中借鉴, 但这些方法对新的约束关系重构及其具体的实施方法还有待于进一步研究。

以设计模板作为信息载体的设计方法, 是当现有产品实例无法满足客户需求时, 首先在模板框架内尝试产品的配置与局部变型, 以满足客户的需求或部分需求, 这些配置或变型后各对象之间的约束关系完全符合模板的约束要求<sup>[6]</sup>。而当局部变型后仍有部分需求无法得到满足时, 再针对这部分需求对模板进行重构, 重新建立产品约束信息, 以避免约束冲突。SAM 产品由于批量小, 但同一产品族中各产品的主要部件之间存在相似的结构及工作原理, 通过建立 SAM 模板进行局部变异, 以缩短开发周期。本文试图通过模板重构方法解决 SAM 产品局部变异后各对象之间的约束处理问题。

## 1 重构理论

可重构性是一种广义的相似性, 是利用子系统、模块的变换、变型、更替等手段对产品进行重构, 以快速改变产品的输出特性, 提高市场响应速度的能力<sup>[7]</sup>。

可重构设计的特点是在产品族中相似部件保持基本功能、原理和结构实现方案不变的前提下, 对部件的某些局部功能和结构进行调整、变更以适应系列化产品的要求; 或是通过对产品的结构形式和尺寸的调整、变更以满足不同产品系列的要求, 实现系列化产品族中关键零件的聚合<sup>[8]</sup>。SAM 产品的重构设计流程见图 1 所示。

若只有一种产品, 就不存在可重构性, 只有当多个产品成组为产品族后, 才可能实现产品的重构设计<sup>[9]</sup>。产品重构设计需要考虑 3 个问题: 1) 配置结构变化后各功能单元之间的交互作用; 2) 各模块之间的接口设计问题;

收稿日期: 2009-04-23 修订日期: 2009-06-25

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAD11A10-02); 高等学校博士学位点专项科研基金 (20040337002)

作者简介: 陆长明 (1966—), 男, 杭州人, 博士研究生, 副教授, 主要从事机械设计理论、CAD/CAM、机电一体化技术的研究。杭州 浙江工业大学机械制造及自动化教育部重点实验室, 310014。Email: luchangming@hz.cn  
\*通信作者: 张立彬 (1955—), 男, 教授, 博士生导师, 中国农业工程学会会员 (E041200042S), 主要从事农业工程、机械设计理论、机电一体化技术的研究。杭州 浙江工业大学机械制造及自动化教育部重点实验室 310014

## 3) 产品跨族变换后的适应性问题。

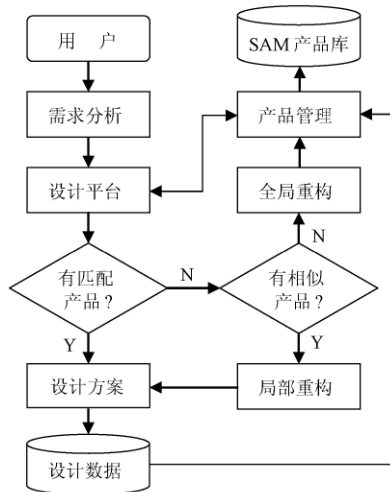


图1 SAM产品重构设计流程

Fig.1 Reconfiguration design flowchart of SAM

## 2 模板重构方法

模板是产品族的通用信息模型, 包含对象、对象之间的约束关系和设计过程知识。模板重构是在不改变模板的信息表达功能的前提下, 通过模板对象的重组和信息重构完成产品或系统的更新。SAM产品按模块划分为动力、操纵、变速、传动、行走和作业等6个主要模块<sup>[10]</sup>, 通过模块的不同组合形成SAM系列产品。将每个模块信息集成后抽象表达为6个不同的子模板, 分别表示为 $T_1 \sim T_6$ , 则SAM产品模板 $T_{SAM}$ 可形式化表示为:  $T_{SAM} = T_1 \oplus T_2 \oplus \dots \oplus T_6$ , 符号 $\oplus$ 表示模板组合运算符。若组成每个子模板的对象存在多个实例, 则仍可逐级分解, 直至只有单个实例的对象为止。由于模板是一个复杂的信息载体, 包含有多种信息, 因此, 模板的组合并不只是简单的相加或者进行逻辑或运算, 而是要根据不同的信息特征进行信息重构。当组成模板 $T_{SAM}$ 中的某一子模板 $T_i$  ( $i=1, \dots, 6$ ) 的信息发生更新或替换为新的子模板 $T_i$ 后, 就形成新的设计模板 $T_{SAM}$ ,  $T_{SAM} = T_1 \oplus \dots \oplus T_i \oplus \dots \oplus T_6$ 。

## 2.1 模板可重构条件

在产品开发过程中, 为了降低成本, 缩短开发周期, 提高产品的可靠性, 要求尽量采用以往设计实践中成熟的几何约束、单元结构和语义描述知识, 最充分地重用经过生产实践检验的产品设计信息<sup>[11]</sup>。在设计模板中, 当模板对象重组后, 新模板对象的属性参数及其定义域都将发生变化, 因此进行模板重构时必须满足一定的条件。根据可重构理论, 模板重构是基于相似性原理, 在进行模板对象重组和约束关系重构时, 必须满足:

- 1) 替换对象与被替换对象之间必须存在功能相似性;
- 2) 各对象属性参数存在共同的定义域, 或在定义域发生变化后可通过原有约束关系推理得到新的约束关系值。

## 2.2 模板对象重组

对象重组是基于拓扑相似性实现模块或功能单元间

特定的交互作用与接口特性, 以改变产品的功能或输入输出特性, 从而达到结构创新的设计方法。模板对象的重组包括模板对象的拆分与组合。

## 2.2.1 模板对象拆分

设模板 $T_A$ 的功能集合为 $F_A = \{FR_1, FR_2, \dots, FR_a\}$ , 由功能集 $F_A$ 通过功能—行为—结构(F-B-S)模型映射到物理域得到结构对象集 $O_A = \{O_1, O_2, \dots, O_p\}$ , 客户在 $T_A$ 的基础上提出要求定制的功能需求集 $F_B = \{FR_1, \dots, FR_b\}$ , 其中 $F_A \cap F_B \neq \emptyset$ , 且 $F_A \neq F_B$ 。现要在模板 $T_A$ 的基础上创建新的模板 $T_B$ , 具体操作为: 设 $U = F_A \cup F_B$ ,  $U$ 为功能全域, 求取:

相同功能集:  $F_{AB} = F_A \cap F_B$ , 相异功能集:  $F_A' = F_A \setminus F_{AB}$ ,  $F_B' = F_B \setminus F_{AB}$

对于相异功能集 $F_A'$ 和 $F_B'$ , 通过F-B-S映射获取与 $F_A'$ 存在映射关系的对象集 $O_{A'}$ , 与 $F_B'$ 存在映射关系的对象集 $O_{B'}$ , 求取 $O_{A'} \cap O_{B'}$ , 可得到相异的模板对象集 $O_a = O_{A'} \setminus O_{A'} \cap O_{B'}$ 和 $O_b = O_{B'} \setminus O_{A'} \cap O_{B'}$ , 将对象集 $O_b$ 替换 $O_a$ , 得到新的模板对象集。

## 2.2.2 模板对象组合

根据上述拆分原则,  $T_{A1}$ 为已有的模板结构, 只要创建新模板 $T_B$ , 然后通过模板组合 $T_B = T_{A1} \oplus T_B$ 得到新模板 $T_B$ 。由于模板是信息的载体, 模板组合除了模板对象的重组外, 还包括各设计信息重构。

## 2.3 约束关系重构

模板对象重组后, 新的对象与原模板对象之间需要建立新的约束关系, 而这种关系的建立是新模板能否重构成功的关键。

设 $O_T = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ 为模板 $T$ 的对象集,  $\Omega_T = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 是对应模板对象的属性集合,  $D_i$ 表示属性 $A_i$ 的定义域, 其中 $i=1, \dots, n$ , 则模板对象之间的关系 $R$ 可表示为 $n$ 元组:  $R \subseteq D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$ 。当移去某一模板对象 $o_n$ 后, 得到新的模板对象集 $O'_T = O_T \setminus o_n$ , 可得到从 $R$ 到分量指标 $1, 2, \dots, n-1$ 的射影 $R' = \prod_{1,2,\dots,n-1} (R) = D_1 \times D_2 \times \dots \times D_{n-1}$ 。设替换模板对象集为 $O_S = \{o_{n+1}, o_{n+2}, \dots, o_{n+k}\}$ , 对应的属性集合为 $\Omega_S = \{A_{n+1}, A_{n+2}, \dots, A_{n+k}\}$ , 对应属性 $A_{n+j}$ 的定义域为 $D_{n+j}$ , 其中 $j=1, k$ , 其关系为 $R_S \subseteq D_{n+1} \times D_{n+2} \times \dots \times D_{n+k}$ , 则模板对象重组后, 模板的约束关系为两组模板对象关系 $R'$ 和 $R_S$ 之间的笛卡儿积, 即 $R' \times R_S$ 。由于同一产品中的各零部件之间存在有直接或间接的信息关联, 两组对象之间的信息不可能完全独立, 因此, 替换对象 $O_S$ 与原模板对象 $O'_T$ 之间必定存在连接接口, 两者通过接口约束关系组合成新模板 $TN$ , 其对象集为 $O_{TN} = O'_T \cup O_S$ 。模板重构后各对象之间的约束关系可通过下列方法确定:

设对象重组后 $O_S$ 与 $O'_T$ 之间存在共同的模板对象属性, 其属性集为 $A_c$ , 即 $A_c = \Omega_S \cap \Omega_T \setminus A_n$ , 设 $A_c$ 的定义域为 $D_c = \{a_1, a_2, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots, a_{k+q}\}$ , 其中 $a_1, a_2, \dots, a_k$ 为 $O_S$ 与 $O'_T$ 相同的定义域,  $a_{k+1}, \dots, a_{k+q}$ 为不同定义域。

1) 对于 $a_1, a_2, \dots, a_k$ , 基于超图的约束规则重构是在模板对象替换后, 以这些属性为接口约束进行自然

连接的过程，表示为  $R_1=R' \triangleright \triangleleft R_S$ ，且  $R_1 \neq \emptyset$ ，其计算方法为

$$R_1 = \prod_{i_1, i_2, \dots, i_m} \sigma_{R' \cdot R_S = R' \cdot a_1 \wedge \dots \wedge R_S \cdot a_k = R' \cdot a_k} (R' \times R_S)$$

其中  $i_1, i_2, \dots, i_m$  是除去  $R_S \cdot a_1, \dots, R_S \cdot a_k$  后所有列依次目录。即：先求取  $R' \times R_S$ ，然后选取在  $R'$  和  $R_S$  中与  $a_1, a_2, \dots, a_k$  一致的元组，对这些元组进行重新组合形成的新元组即为重构后的模板对象之间的约束关系；

2) 对于  $a_{k+1}, \dots, a_{k+q}$ ，则以  $R_S$  为依据求取  $R_2=R' \times R_S$ ，根据约束规则  $D_i=f(a_{k+1}, \dots, a_{k+q})$  对对象集  $O_T$  的属性定义域进行更新，形成新的约束关系，其中  $i=1, \dots, n-1$ ， $f$  表示属性参数之间存在的约束规则；

3) 将以上两步得到的规则进行综合，得到模板对象重组后的约束关系，即  $R=R_1 \cup R_2$ 。

### 3 应用实例

许多采用可重构模块化设计的SAM产品如旋耕机、除草机、开沟机等采用了相似的主体结构，通过挂接不同的作业机具实现不同的作业功能，具有功能结构相似，易于通过模块的变换快速实现不同的产品配置，适于可重构设计。以旋耕机产品为基型，构建产品模板，通过信息重构实现产品的功能和结构创新。

#### 3.1 SAM 产品模板的超图表示

SAM 各部件之间存在多个约束关系，每个部件又由多个功能结构单元组成，以双轮驱动小型旋耕机为例，其结构如图 2 所示。图中根据功能不同分成不同的模块组合，包括动力源、变速箱、传动箱、扶手、行走轮和旋耕装置，其相互关系可用模板表示为图 3 所示的超图模型，利用超图来表示模板对象之间的约束关系模型<sup>[12]</sup>，建立约束模型的有向超图  $H=(V, \varepsilon)$ ， $V = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ ， $V$  为顶点集， $o_i$  代表模板对象属性及其取值的信息； $\varepsilon$  为有向超边集， $\varepsilon = \{e_1, e_2, \dots, e_6\}$ ，代表  $V$  的一个子集合族， $e_i$  表示具有相似功能单元聚类成的不同模块对象之间的约束关系集，包括装配约束、尺寸约束、位置约束等， $o_k=e_i \cap e_j$ ， $(i, j=1, 6)$ ， $o_k$  表示两组约束关系共同存在依赖的顶点。其中  $e_1$  为动力装置， $e_2$  为变速机构， $e_3$  为操作机构， $e_4$  为行走机构， $e_5$  为传动机构， $e_6$  为作业机构，对于  $\forall i \in \{1, 2, \dots, 6\}$ ， $e_i \neq \emptyset$ ， $\bigcup_{i=1}^6 e_i = V$ 。

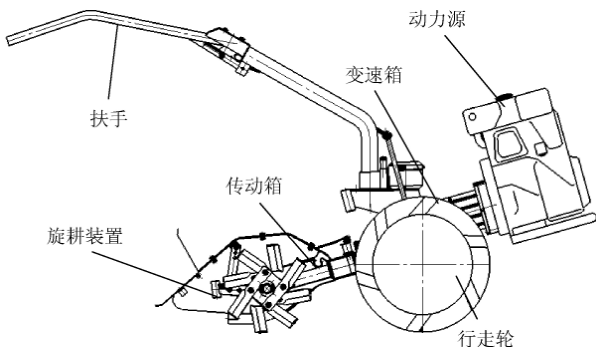


图 2 小型旋耕机结构图

Fig.2 Structural diagram of small rotary cultivator

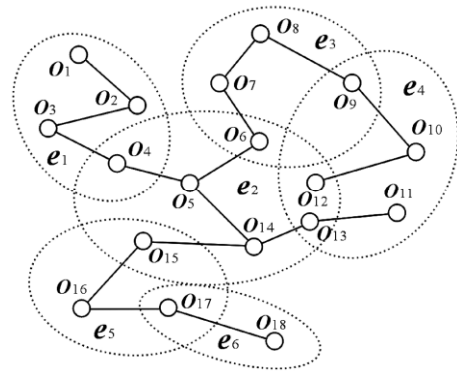


图 3 SAM 产品模板的超图表示

Fig.3 SAM product templates with hypergraph

图 3 中以  $e_3$  的扶手为例，对象  $o_6$  为扶手与变速箱之间的连接件，其对象属性包括：连接类型 (type)，有 {fixed, adj}，表示固定式和可调式；可调角度 (angle)，取值  $[-90^\circ, 90^\circ]$ ，可  $\pm 90^\circ$  旋转；扶手形状 (shape)，有 A 型、V 型、万能型、防振型……。

#### 3.2 模板对象描述

根据模板的定义，将面向对象的方法应用到产品模板体系的构建中，模板对象以类的形式来表达。从面向对象的角度出发将 SAM 产品从整机、可重构模块和零部件为研究对象进行建模，并以类的形式化语言对这些模板进行说明。以扶手为例，其具体的类定义描述为：

```

Class Handrail
{
Public:
    Structure (Part_CompData *thePart_CompData);
        //部件的结构
    ~structure( );
    Virtual Structure *GetPart_CompData( )
    { myPart_ComponentData ->GetData(); }
        //部件参数获取函数
    Char *fatherID; //父类 ID
    Char *childID; //子类 ID
Private:
    Part_CompData *thePart_CompData;
        //指向部件结构的指针
    Char partID; //扶手编号
    Char type; //扶手安装类型
    Char shape; //扶手形状
    float angle; //角度
    float connect_pipe_length; //连接管长度
    float support_tube_lenth; //支撑管长度
    ...
    KnowledgeRule *myKnowledgeRule;
        //扶手部件间的约束规则
}
    
```

通过类定义，对产品族中相似部件进行泛化表示，在模板对象参数的定义域范围内配置具体的产品结构。

### 3.3 约束规则

在 SAM 产品设计模板中, 模板对象替换或更新后, 要对模板信息进行重构, 重新构建新的作业机设计模板, 并以此配置出新的产品。

常用约束关系包括装配约束、尺寸约束、位置约束、依赖约束、排斥约束等, 可分别表示为:

装配约束:  $\langle \text{entity}_1, \text{entity}_2 \rangle = \{\text{mate}, \text{align}, \text{coaxial}, \text{tangent}\}$ , 表示两实体匹配、对齐、同轴、相切等约束;

位置约束:  $\langle \text{entity}_1, \text{entity}_2 \rangle = \{x, y, z, \text{inner}, \text{outer}\}$ , 表示实体 1 位于实体 2 的方位;

尺寸约束:  $DS = \{=, <, \neq, >\}$ , 表示尺寸定义范围;

接口约束:  $o_i \cdot \text{output} \rightarrow o_{i+1} \cdot \text{input}$ , 表示对象  $o_i$  的输出与其相邻对象  $o_{i+1}$  的输入相同, 输入输出可以是接口种类、几何尺寸、运动传递等。

以上约束关系当模板对象变更后, 约束关系也相应更新。模板对象之间的约束关系可用邻接矩阵来表示, 组成邻接矩阵的各元素表示对象属性参数之间的匹配关系, 由于约束关系是一个多种约束的集合, 规则描述包含定量和定性的多种形式, 很难用规则强度来表示对象之间的关联关系。因此, 在模板规则重构时, 需要以新模板对象的约束关系去匹配原有剩余模板对象。

### 3.4 产品模板重构

将 SAM 产品作为一个模板, SAM 的全部功能结构

单元作为节点, 则每个部件看作是多个节点组成的模板对象子集。

在 SAM 产品模板中, 以扶手部件为例, 传统的双轮驱动旋耕机采用固定式扶手, 安装角度与机体行走方向一致, 在工作环境较小或转弯时不够灵活。为适应小空间作业, 需要增加操作灵活性, 根据该功能需求, 将对模板对象属性定义域进行更新, 在原双轮单功能作业机的基础上, 将旋耕机扶手由固定式改为自锁型无级换向扶手, 换向扶手可  $\pm 90^\circ$  任意转动和任意角度固定, 即  $\varphi = 0 \rightarrow \varphi = 0 \sim \pm 90^\circ$ , 扶手形状分为 A 型、V 型、C 型、防振型等; 同时, 将原双轮驱动方式改进为单轮和无轮自驱动方式。由于结构单元的更新, 将模板参数定义域及配置规则进行更新, 在模板配置规则中增加:

$r_1$ : if type='fixed' then angle=0

$r_2$ : if type='adj' then angle  $\geq -90$  and angle  $\leq 90$

$r_3$ : if type='adj' then shape='A' or 'V' or 'C' or 'PV'

.....

$r_{10}$ : if type='adj' then wheel\_no=1

.....

在完成模板约束关系更新后, 可得到新的模板框架  $T_2$ , 并在  $T_2$  框架内进行实例化配置, 模板重构过程见图 4。

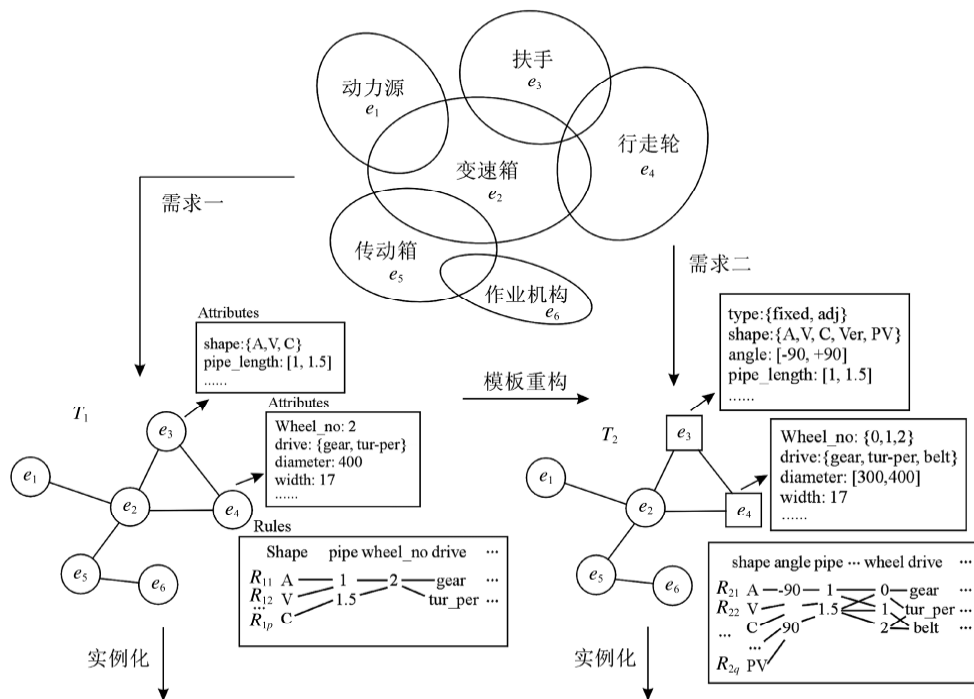


图 4 SAM 产品模板重构过程

Fig.4 Reconfiguration process of SAM product templates

### 3.5 产品配置

根据旋耕机特点, 在旋耕机设计模板  $T_1$  基础上, 通过对模板对象属性参数和对象之间的约束关系进行重

构, 得到新的设计模板  $T_2$ , 在  $T_2$  的基础上对其结构进行交互配置, 配置界面如图 5 所示。

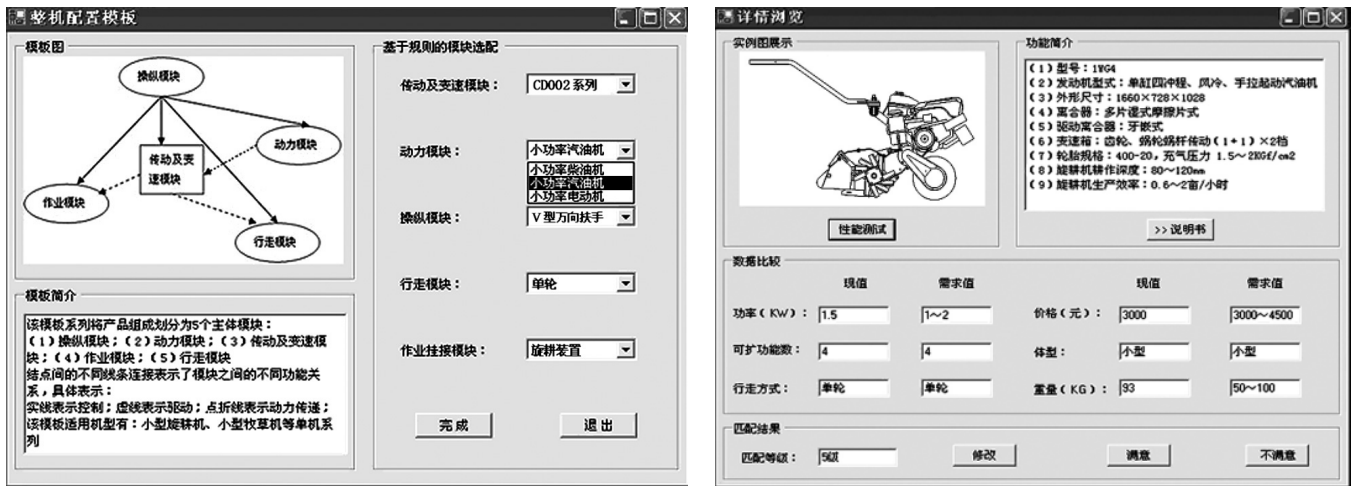


图 5 旋耕机结构配置

Fig.5 Structural configuration of rotary cultivator

### 4 结论

通过模板重构得到新的旋耕机产品族模板，在新模板的基础上配置出的产品扶手可任意转动和任意角度固定，并将行走轮由双轮改为单轮行走，有效地提高了作业灵活性，克服了双轮驱动作业机边角作业困难的问题，使产品更适合于狭窄空间中使用。

利用超图表示产品模板结构，直观地表示了模板对象属性及对象之间的约束关系。根据客户需求，在已有模板基础上通过对模板对象重组和信息的重构，形成新的产品模板，从而实现产品的变异与创新。

#### [参 考 文 献]

[1] 张立彬, 叶永伟, 蒋建东, 等. 基于可重构模块化的小型农业作业机方案设计[J]. 农业机械学报, 2005, 36(4): 78—81.  
Zhang Libin, Ye Yongwei, Jiang Jiandong, et al. Scheme design of small agricultural machinery based on reconfigurable module method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2005, 36(4): 78—81. (in Chinese with English abstract)

[2] 蒋建东, 张立彬, 胥芳, 等. 面向大批量定制生产的小型农业作业机客户需求模型的构建研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 98—102.  
Jiang Jiandong, Zhang Libin, Xu Fang, et al. Model for customer requirements of small agricultural machinery product under mass customization[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(9): 98—102. (in Chinese with English abstract)

[3] 江伟光, 武建伟, 潘双夏. 支持变型设计的可配置产品结构模型[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(5): 849—854, 903.  
Jiang Weiguang, Wu Jianwei, Pan Shuangxia. Configurable product structure model for variant design[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2008, 14(5): 849—854, 903. (in Chinese with English abstract)

[4] Lai Yuanlung. A constraint-based system for product design

and manufacturing[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2009, 25: 246—258.

[5] Carnduff T W, Goonetillake J S. Configuration management in evolutionary engineering design using versioning and integrity constraints[J]. Advances in Engineering Software, 2004, 35: 161—177.

[6] Muchnick H. Robust design of multilevel systems using design templates[D]. Atlanta, GA: G. W. Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, 2007.

[7] 罗振璧, 于学军, 刘阶萍, 等. 可重构性和可重构设计理论[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2004, 44(5): 577—580.  
Luo Zhenbi, Yu Xuejun, Liu Jieping. Reconfigurability and reconfigurable design theory[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology Edition, 2004, 44(5): 577—580. (in Chinese with English abstract)

[8] 蒋建东, 叶永伟, 张宪, 等. 基于 CBR 小型农业作业机的可重构设计[J]. 农业机械学报, 2006, 37(6): 32—35.  
Jiang Jiandong, Ye Yongwei, Zhang Xian, et al. Study on small agricultural machinery products reconfigurable design based on CBR[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6): 32—35. (in Chinese with English abstract)

[9] Abdi M R, Labib A W. Grouping and selecting products: the design key of reconfigurable manufacturing systems[J]. International Journal of Production Research, 2004, 42(3): 521—546.

[10] 陆长明, 蒋建东, 胥芳, 等. 基于接口的小型农业作业机模块划分方法研究[J]. 农业机械学报, 2007, 38(6): 57—61.  
Lu Changming, Jiang Jiandong, Xu Fang, et al. Research on module partition approach of small agricultural machinery based on interface restraints[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2007, 38(6): 57—61. (in Chinese with English abstract)

[11] Han Young Hyun, Lee Kunwoo. A case-based framework for reuse of previous design concepts in conceptual synthesis of

- mechanisms[J]. *Computers in Industry*, 2006, 57: 305—318.
- [12] 马翠霞, 孟祥旭, 龚斌, 等. 参数化设计中的对象约束模型及反向约束的研究[J]. *计算机学报*, 2000, 23(9): 991—995.
- Ma Cuixia, Meng Xiangxu, Gong Bin, et al. Research on object constraints model and inverted constraints in parametric design[J]. *Journal of Computer*, 2000, 23(9): 991—995. (in Chinese with English abstract)

## Variational design of small agricultural machinery based on templates reconfiguration

Lu Changming<sup>1,2</sup>, Zhang Libin<sup>1\*</sup>, Jiang Jiandong<sup>1</sup>, Zhang Xian<sup>1</sup>, Xu Fang<sup>1</sup>

(1. *Key Laboratory of Mechanical Manufacture and Automation, Ministry of Education, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;*

2. *Department of Mechanical Engineering, Zhejiang Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China*)

**Abstract:** As a typical small batch and multi-varieties product, variational design of small agricultural machinery was an effective approach to reduce cost and shorten developing cycle. Aiming at the problem that the partial variation to meet customer requirements could lead to conflict of constraints, variational design approach based on constraints reconfiguration of templates was proposed. On the basis of existing templates, the attributes of objects and the constraints among objects of template were represented by hypergraph. New rules database was created through re-grouping template objects and reconfiguring rules of constraint so as to configure concrete product structure on the basis of new templates. Applying the approach to variational design of small agricultural machinery demonstrates the feasibility of the results.

**Key words:** agricultural machinery, variational techniques, constraint theory, design templates, templates reconfiguration, hypergraph