

基于实例的多推理机合作变型设计系统^{*}

江力 何志均 孙守迁

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 杭州 310027)

(浙江大学人工智能研究所 杭州 310027)

摘要 产品变型设计的基本思想就是通过改进已有的系列产品或模块来适应新的设计需求. 针对变型设计的基本特点, 提出了以基于实例的推理为基础, 综合运用规则推理和约束满足方法来完成产品的变型设计活动. 结合所开发的“细纱机模块化变型设计系统”, 从知识表达模式、推理流程等方面详细讨论了以基于实例的推理为核心方法的多推理机合作变型设计系统的实现.

关键词 智能 CAD, 知识表达, 基于实例的推理, 产生式规则, 约束满足.

中图法分类号 TP391

在人工智能领域, 基本的推理方法可以分为归纳推理和演绎推理两类. 其中, 归纳推理以基于实例的推理方法为代表, 一般适用于经验积累较为丰富的问题领域^[1~4]; 而演绎推理则适合于求解领域知识较为丰富、完整且定义良好的问题, 比较典型的演绎推理方法有基于产生式规则的推理等.^[5]

就本文所讨论的变型设计问题而言, 通过对其基本求解过程的分析可以发现, 变型设计作为一种相对规范、刻板, 同时又应用广泛的设计方法, 其基本思想是以已存在的大量设计实例为基础, 通过改进已有的设计实例来适应新的设计需求; 同时, 变型设计又是一项知识密集型的智能活动, 它要求有丰富的设计相关知识, 并且贯穿于整个设计过程的始终.

目前, 国内外已相继出现了一些以基于实例推理为基本方法的面向特定产品的设计求解系统^[6], 在理论研究与实际应用两方面均作出了有益的探索和尝试. 本文将首先对变型设计行为的基本求解方法和流程作出深入的分析 and 描述, 在此基础上, 提出一个完整的、较为通用的、以实例推理为主体并综合了规则推理等演绎推理方法的变型设计问题求解系统框架, 并以此来指导实际应用系统的开发.

1 变型设计的基本特点

1.1 产品设计活动的基本类型

根据设计活动的基本特点和实际应用情况, 可以将设计归纳为以下 3 种基本类型:^[7,8]

• 创造性设计(Creative Design): 这是一种完全创新的设计. 其基本特点是: 对于设计目标的描述是不完全和不确定的, 没有现成的问题分解模式和对子问题的设计规划, 整个设计过程是发散的, 设计结果取决于设计者的创造性思维.

• 适应性设计(Adaptive Design): 这类设计是在保持产品原理、方案基本不变的前提下, 对原有产品的某些局部结构作出变更, 以适应某种要求. 从整体上来说, 适应性设计的目标是确定的, 同时存在着较为固定的问题分解模式, 但对于某些子模块来说, 则往往在技术上要求较大变化, 换言之, 可能存在着对于某些子系统的创造性设计.

• 变型设计(Variant Design): 在产品工作原理、功能和结构不变的情况下, 变更现有产品某些局部组成部件的配置和尺寸, 使之适应于更多的量的要求. 这是一种相对刻板、常规的设计活动. 其基本特点是, 以已有的成功设计实例为基础, 具有固定、有效的问题分解结构, 对于子问题的设计和设计错误的处理都具有比较明确的常规步骤和方法, 设计过程中的创造性和随意性成分较少, 因此, 比较适合于运用现有的计算机技术去辅助实现.

* 本文研究得到国家自然科学基金和国家 863 高科技项目基金资助. 作者江力, 1970 年生, 博士, 主要研究领域为智能 CAD, 知识工程. 何志均, 1923 年生, 教授, 博导, 主要研究领域为人工智能, 计算机应用, 软件工程. 孙守迁, 1963 年生, 博士后, 副教授, 主要研究领域为智能 CAD, 产品设计.

本文通讯联系人: 江力, 杭州 310027, 浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室

本文 1997-04-22 收到原稿, 1997-10-07 收到修改稿

在实际生产中,变型设计占有相当大的比重,尤其是它很好地顺应了产品“小批量、多品种”的生产、经营策略,对于企业的生产、经营具有很好的应用价值.如果能够对产品的变型设计活动提供较好的辅助和支持工具,那么,一方面可以大大缩短企业变型产品的设计周期;另一方面,也有利于减少设计过程中的人为错误,提高设计准确性.

1.2 变型设计的基本求解模型

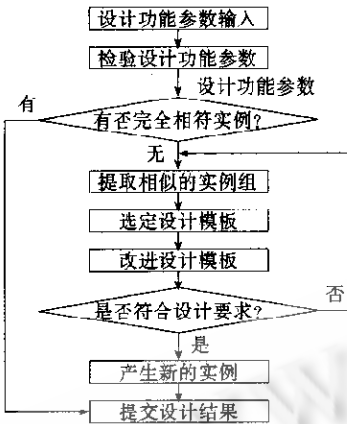


图1 变型设计的基本求解方法模型

就整体而言,变型设计就是一个依据产品的基本组成结构而对设计任务逐步分解、求精的过程,即运用一定的规则,将对于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.在具体设计某一模块时,其基本的设计求解方法模型可以表示为如图1所示的流程.

由图1可以发现,在变型设计过程中,设计师一方面是以已设计成功的模块实例作为解决新问题的基础,另一方面,在对已有实例进行改进时又必须依照领域内特定的设计规则.基于这些考虑,本文提出以基于实例的推理为基础,结合应用产生式规则构造一个多推理机合作的产品变型设计支持系统.其中,重点要解决以下几方面的问题:

- (1) 能够对输入参数作出必要的分析和检验,以确认输入设计参数的合理性;
- (2) 能够较好地表达和组织已有的大量设计实例;
- (3) 能够根据新的设计要求检索相符或相近的实例组;
- (4) 能够从中选取合适的实例作为变型的模板;
- (5) 能够参照领域知识对已选取的模板加以合理改进;
- (6) 对设计结果作出正确的评价.

2 面向产品变型设计的知识表达模型

面向产品变型设计的知识表达模型必须完整、有效地表达变型设计过程中所需的各类知识,从而为设计问题求解提供支持.从面向对象的思想出发,所建立的知识表达模型既要包括对目标产品本身的描述信息,又必须能够包含各个对象相应的信息处理方法(包括基于知识处理的方法和常规处理方法两种).具体地说,应能描述以下知识和信息:

- 结构类知识:对于任何一个产品而言,必然存在着基本的静态组成结构,它表明了各个设计对象之间相互影响、相互作用的关系,并且这部分信息将构成控制求解进程的依据.
- 属性类知识:是指每一个设计对象所具有的在功能、性能、结构组成等各方面的特征.对于对象属性的表达既应有对单一属性的描述,同时还必须考虑到属性之间可能存在的相互联系.这部分知识包含了基于实例推理所需的基本信息.
- 方法类知识:包含了关于对象的求解方法和策略.这里所述的方法既包括产生式规则、描述性框架等属于人工智能范畴的方法,同时也包括了对传统CAD处理方法的调用.

基于如上考虑,本文定义了一个面向变型设计的表达模型,其基本定义如下:

```

<VDO> ::= { <VDO_NAME> <VDO_TYPE> <ATTRIBUTE_LIST> <DATA_LIST>
            [ <COMPONENT_LIST> ] <INSTANCE_LIST> <DESIGN_AGENT> { <DESCRIPTION> } }
<ATTRIBUTE_LIST> ::= <ATTRIBUTE> +
<ATTRIBUTE> ::= <ATTR_NAME> <ATTR_TYPE> <KEY_FLAG> <ATTR_WEIGHT>
<KEY_FLAG> ::= { 0 | 1 }
<ATTR_WEIGHT> ::= <FLOAT> [ [ 0, 1 ]
<DATA_LIST> ::= <DATA> *
<DATA> ::= <DATA_SITE> <DATA_TYPE> <DATA_HANDLER>
<COMPONENT_LIST> ::= <VDO_NAME> +
<INSTANCE_LIST> ::= <INST_ID> *
<DESIGN_AGENT> ::= { <TASK> <PLAN> }
<TASK> ::= { <ATTR_NAME> <VALUE> } +
<PLAN> ::= [ { <CONSTRAINT_LIST> } ] [ <ACTION> ] [ <RULE_LIST> ] +
<CONSTRAINT_LIST> ::= <CONSTRAINT> +
<ACTION> ::= <TRIGGER> { <CALL>
  
```

```

<TRIGGER> ::= <HANDLER><MESSABE>
<CALL> ::= <FUNC-NAME><FUNC-ARGU>
<RULE-LIST> ::= <RULE>+
<RULE> ::= <RULE-NAME><CONDITION><CONCLUSION>

```

VDO 各组成部分具体解释如下。VDO_NAME, VDO_TYPE: 分别代表变型设计对象类的名称、类别; ATTRIBUTE-LIST: 用于描述设计对象所具有的属性特征, 其中每一属性描述均包括名称、种类、是否关键属性及属性的重要性权重; DATA-LIST: 描述设计对象可能对应的外部数据, 如图纸、明细表等, 包括数据地址、数据类别和相应的数据处理程序; COMPONENT-LIST: 利用 VDO 名称索引来描述组成对象的子对象集合, 由此可以体现对象的静态组成结构, 也为对于本对象的设计求解提供了推理控制的依据; INSTANCE-LIST: 用来记录现有的属于本对象类的所有实例, 各实例依据属性的不同而相互区别, 由此形成设计实例库, 为进一步的变型设计提供信息基础; DESIGN-AGENT: 描述了对于特定对象类的具体设计求解策略, 也体现了各类对象在求解方法上的个性特征。其中 <TASK> 描述了可接受的设计任务, 继而以 <PLAN> 来表达求解方案, 求解方案由约束集、设计动作和规则集依特定顺序的组合构成; <CONSTRAINT-LIST> 表示各个属性之间必须满足的约束条件, 用于对设计中接受的入口任务、提交的出口结果的验证和对设计过程中各个中间决策的评价; <ACTION> 描述了求解过程中需要进行的操作, 包括以消息传递的方式下达对子对象的设计任务和对内部与外部各类函数的调用; <RULE-LIST> 则是以产生式规则的方式描述求解过程中的经验性推理规则。

本模型的特点在于, 它以层次的框架结构和面向对象的思想为核心, 具有较强的结构化能力。其优点主要表现为: (1) 具有面向对象的特征, 如信息封装性和继承性; (2) 将设计对象的数据与知识作为一个有机的整体进行表达, 有利于求解过程中对知识处理技术和常规数据处理系统等的综合运用; (3) 能够完整、有效地表达变型设计过程中所运用的各类设计知识, 支持系统在此基础之上完成基于实例的推理, 并支持约束满足和规则推理; (4) 结构简单, 便于理解, 有利于设计专家对大量知识的直接编辑、维护。

3 基于实例推理的变型设计混合求解模型

在以上所建立的知识表达模型的基础上, 对于产品构成中各个设计对象的求解流程可用图2来表示。

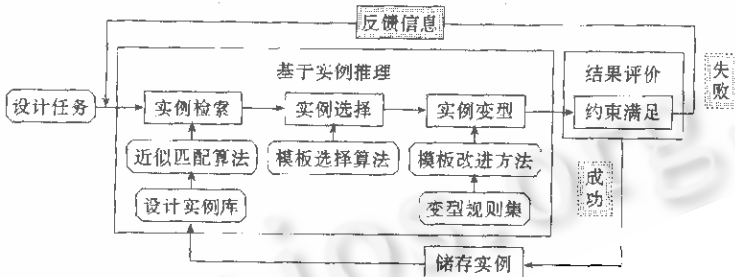


图2 基于实例推理的混合求解模型

在图2所示的混合求解模型中, 基本的求解方法是, 以基于实例的推理为基础, 即通过对已有设计实例的检索、选择和变型来完成求解。下面, 我们结合对细纱机部件: 车头传动的设计, 对推理过程中所应用的近似匹配算法、模板选择算法和模板改进方法进行描述。

3.1 近似匹配算法

在接受了设计任务以后, 如果设计实例库中没有与要求设计参数完全匹配的实例, 则应从已有实例中提取与设计参数部分匹配的实例组, 具体算法如下:

步骤1. 令 $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m, f_{m+1}, f_{m+2}, \dots, f_{m+n}\}$ 表示一类设计对象所具有的一组属性, 其中由属性的 <KEY-FLAG> 可得, $f_i (i=1, 2, \dots, m)$ 为对象的重要属性, $f_i (i=m+1, m+2, \dots, m+n)$ 为对象的一般属性;

步骤2. 设定 $W = \{W(f_{m+1}), W(f_{m+2}), \dots, W(f_{m+n})\} \in [0, 1]$ 为对象一般属性的权值;

步骤3. 令 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{m+n}\}$ 表示一组相应于对象属性的值, 设要求设计参数为 V' , 对每一实例取其实际功能属性 V'' , 计算 $S = \{S_1(v_1', v_1''), S_2(v_2', v_2''), \dots, S_{m+n}(v_{m+n}', v_{m+n}'')\}$, 当 v_i' 与 v_i'' 相同时, 取 S_i 为 1, 否则, 取 S_i 为 0, $i = 1, 2, \dots, m+n$;

步骤4. 计算 $B = \prod S(f_i) * (\sum W(f_j) \cdot S(f_j)) \in [0, 1]$, 即得实例的匹配值, 其中 $i = 1, 2, \dots, m, j = m + 1, m + 2, \dots, m + n$;

步骤5. 设匹配阈值 T , 取 $B \geq T$ 的实例为所选相似实例.

例: 现有细纱机部件: 车头传动, 其属性参数包括: 锭距、升降动程、机器高度和锭盘高度, 各参数重要性定义见表1, 其中匹配阈值为0.75.

表1

参数	锭距	升降动程	锭盘高度	机器高度
权值	1	0.5	0.25	0.25

实例库中现已有以下实例, 见表2.

现有设计任务为: {锭距: 70, 升降动程: 180, 锭盘高度: 30, 机器高度: 增加50mm}.

由近似匹配算法计算可得各实例匹配值, 见表3.

由匹配阈值为0.75, 可以得到近似匹配实例组为: {TEJ251M-70 * 180-00, TEJ251K-70 * 180-00}.

表2

锭距	升降动程	锭盘高度	机器高度	机架型号
66.675	155	35	正常	TEJ251K-66 * 155-00
66.675	165	30	正常	TEJ251K-66 * 165-00
70	180	35	增加50mm	TEJ251M-70 * 180-00
70	205	30	增加50mm	TEJ251M-70 * 205-00
70	180	30	正常	TEJ251K-70 * 180-00
70	205	35	正常	TEJ251K-70 * 205-00

表3

机架型号	匹配值
TEJ251K-66 * 155-00	0
TEJ251K-66 * 165-00	0
TEJ251M-70 * 180-00	0.75
TEJ251M-70 * 205-00	0.50
TEJ251K-70 * 180-00	0.75
TEJ251K-70 * 205-00	0

3.2 模板选择算法

一般而言, 依据近似匹配算法得到的匹配实例可能为多个, 因此, 还必须从中选择合适的实例作为设计模板. 具体算法如下:

步骤1. 令 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 为经近似匹配所得的候选实例;

步骤2. 令 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ 为一组评价标准;

步骤3. 计算评价矩阵 $R: C \times S \rightarrow [0, 1], R_{ij} = R(C_i, S_j) \in [0, 1], R|_{C_i} = (R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{im}) \in [0, 1]^m$, 其中 R_{ij} 表示实例 C_i 对于评价标准 S_j 的符合值;

步骤4. 计算评价函数 $E(R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{im})$ 的实例的评价分 E_i ;

步骤5. 取 E 值最高的实例为设计所需的基型.

例: 对于上文细纱机部件车头传动的设计, 现有评价标准为

(a) 若升降动程与锭盘高度均相符, 则评价分为0.6;

(b) 若锭盘高度与机器高度均相符, 则评价分为0.5.

根据模板选择算法可得: TEJ251M-70 * 180-00为与设计参数最相近的实例.

3.3 模板改进方法

在已确定的设计模板基础上, 还必须按照要求对参数进行改进, 基本过程如下:

步骤1. 确定所选实例中与设计要求不符的特征;

步骤2. 根据变型规则确定需要改进的部分, 由 (DESIGN-AGENT) 调用相应的处理方法;

步骤3. 如对于模块作出改进, 则下达对于模块的设计任务.

对于上例, 比较设计参数和所选部件 TEJ251M-70 * 180-00可知, 二者仅机器高度不同, 由规则“若机器高度不符, 则转入对零件车头传动支架设计”, 下达了对模块——车头传动支架的设计任务 {机器高度: 增加50mm}.

4 变型设计求解系统框架

根据以上提出的知识表达模型, 我们构造了基于实例的多推理机合作变型设计系统框架, 如图3所示. 具体模块介绍如下:

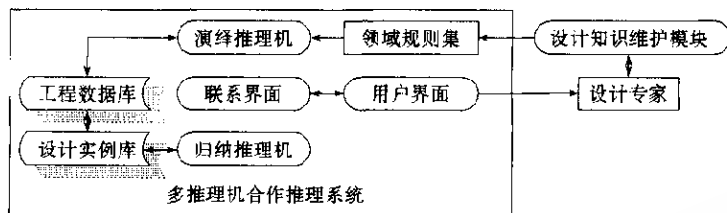


图3 基于实例的多推理机变型设计系统框架

- 归纳推理模块:包括一个归纳推理机和设计实例库,由设计实例库存储已有的设计实例,由归纳推理机针对设计要求完成对设计实例的匹配、选择。
- 演绎推理模块:包括演绎推理机及领域规则库,其作用有:控制求解流程,分解设计任务;完成对已选设计实例的改进;评价设计结果的合理性与有效性。
- 工程数据库:存储所有与设计产品的相关信息,包括设计图纸、明细表和设计文档资料等。
- 用户接口模块:负责系统与设计师之间的信息交流,包括下达设计任务、提交和评价设计结果、纠正设计错误等。
- 联系界面:管理归纳推理模块、演绎推理模块和用户接口模块之间的信息交流,以消息传递的形式协调、触发归纳推理和演绎推理模块。
- 知识库维护子系统:主要用于设计工程师对于知识库内各类设计规则、约束的维护、修改。

5 结 语

本文的特色在于,以变型设计这一类设计活动作为研究对象,通过对其基本求解方法、流程的分析,提出了一个完整的以实例推理为基本方法,并综合了规则推理等其他方法的变型设计问题求解系统框架。目前,我们已经完成了系统模型的构造,在此基础上与上海二纺机股份有限公司开发完成了“细纱机模块化设计系统”,取得了较好的效果。

参考文献

- 1 Koiodner J, Mark W. Case-based reasoning. IEEE Expert, 1992,7(5):5~6
- 2 Chi R T H, Kiang M Y. Reasoning by coordination: an integration of case-based and rule-based reasoning systems. Knowledge-Based Systems, 1993,6(2):103~113
- 3 Simoudis E. Using case-based retrieval for customer technical support. IEEE Expert, 1992,7(5):7~12
- 4 Li D X. Developing a case based knowledge system for AIDS prevention. Expert System, 1994,11(4):237~244
- 5 Sriram D, Staphanopoulos G, Logcher R. Knowledge-based system applications in engineering design research at MIT. AI Magazine, Fall 1989
- 6 毛权,秦敬,周济等. DEST2.0:一个基于实例原型的设计支持工具. 计算机研究与发展,1995,32(3):25~32
(Mao Quan, Qin Jing, Zhou Ji et al. DEST2.0: a case prototype based design supporting implement. Computer Research and Development, 1995,32(3):25~32)
- 7 Pahl G, Beitz W. Engineering Design. London: The Design Council, 1985. 1~5
- 8 Brown D C, Chandrasekaran B. Design Problem Solving. Knowledge Structures and Control Strategies. London: Pitman, 1989. 32~64

Case-Based Cooperative Reasoning System for Variant Design

JIANG Li HE Zhi-jun SUN Shou-qian

(State Key Laboratory of CAD & CG Zhejiang University Hangzhou 310027)

(Artificial Intelligence Institute Zhejiang University Hangzhou 310027)

Abstract The main idea of variant design is to adapt the existing product or module to the new requirements. Based on the analysis of the basic problem solving model of variant design, a case-based reasoning system combined with rule-based reasoning and constraint satisfaction method to imitate the process of variant design is proposed in this paper. With the application “spindle machine module variant design system” as an example, the knowledge representation model and the reasoning process of the variant-design-oriented cooperative reasoning system are discussed in detail.

Key words Intelligent CAD, knowledge representation, CBR (case based reasoning), RBR (rule based reasoning), constraint satisfaction.