

文章编号:1000-582X(2011)11-037-07

产品设计冲突的粒计算消解模型

李光锐¹, 郭 钢¹, 汤华茂¹, 顾 斌²

(1. 重庆大学 机械工程学院, 重庆 400030; 2. 上海锅炉厂有限公司, 上海 200245)

摘 要:针对产品设计约束具有层次性、分布性及动态性的特点,用分布式约束满足问题模型难以进行产品设计冲突消解的问题。将产品设计转化为商空间粒度世界,建立了分层递阶粒计算产品设计冲突消解模型。对产品设计问题进行粒化和划分,通过商映射和粒度合成实现不同层次之间以及不同设计领域之间的映射和回溯,采用分层次、逐步细化的粒计算方法进行冲突消解。这种由粗到细、层层深入、逐层求解的粒计算消解方法简化了分布式动态约束满足问题,降低了问题求解的计算复杂性,具有系统性、整体性和层次性特点。

关键词:产品设计;冲突消解;商空间;粒计算

中图分类号:TP393;TH166

文献标志码:A

Granular computing model for conflict resolution in product design

LI Guang-rui¹, GUO Gang¹, TANG Hua-mao¹, GU Bin²

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China;

2. Shanghai Boiler Works Co. Ltd., Shanghai 200245, P. R. China)

Abstract: The conflicts of product design are difficult to be resolved using the model of distributed constraint satisfaction problem for the characteristics of hierarchy, distribution and dynamic of product design's constraints. Product design is translated into a granular world in quotient space, and a multi-level hierarchical model of granular computing for conflict resolution in product design is constructed. The conflicts of product design can be resolved hierarchically and progressively through granulation and division of product design's constraints and combination between quotient mapping and granularity synthesis which can achieve the mapping and backdate between different design domains. The method resolves the problem in a hierarchical coarse-to-fine and layer by layer manner. By the granular computing for conflict resolution, the distributed constraint satisfaction problems can be simplified and the computing complexity of the problem solving can be decreased, and it has the characteristics of systematicity, integrity and hierarchy.

Key words: product design; conflict resolution; quotient space; granular computing

现代产品设计往往涉及复杂产品多领域协同设计。产品的客户需求复杂、产品组成复杂、产品技术复杂、项目管理复杂。产品设计涉及机械、电子、控制等专业技术领域,也涉及质量、成本、工艺等管理

技术领域。由于不同领域的专家具有不同的知识背景,考察问题的角度往往不同,对设计评价的标准不一样,在设计过程中常常会做出不同的设计选择,设计冲突难以避免。目前,产品设计冲突检测与消解

收稿日期:2011-06-28

基金项目:国家 863/CIMS 主题资助项目(2007AA04Z1B1);国家科技支撑计划项目(2006BAF01A41)

作者简介:李光锐(1975-),男,重庆大学博士研究生,主要研究方向为新产品开发多项目管理、产品数据管理。

郭钢(联系人),男,重庆大学教授,博士生导师,(E-mail)cquguogang@163.com。

往往从某个单一的角度进行研究,如:基于事例的冲突消解^[1-2]、基于设计结构矩阵的冲突消解^[3]、基于约束^[4-5]的冲突消解以及基于发明理论的冲突消解方法^[6]等。

粒计算是研究基于多层次粒结构的思维方式、问题求解方法和信息处理模式。美国 San Jose State 大学教授 Lin 于 1997 年在他的论文中第 1 次提出了粒计算^[7](granular computing, GRC)。在国内,张钊和张铃建立了基于商空间的粒度世界模型^[8]。此后,粒计算的应用研究不断出现在图像识别^[9]、性能分析^[10]、机器学习^[11]以及数据挖掘^[12]等领域里。笔者试图采用商空间粒度计算理论的基本思想和方法探索一种系统性、整体性、更接近人的思维模式的产品设计冲突消解方法。

1 产品设计冲突消解问题

1.1 产品设计约束网络模型

产品设计存在许多固有的约束关系,包括:设计规范、设计对象的基本规律、各种一致性要求、当前技术水平、资源限制以及顾客需求等。然而产品设计往往是多个的具有不同知识背景的协作者或功能小组在时间上分离、空间上分布、计算机支持的协同工作环境中围绕共同的产品设计任务进行协同工作、交互协商、分工合作、并行协作地参与设计的问题求解过程。因此产品设计约束具有层次性、动态性、分布性的特点。设计的核心问题是在功能满足的条件下寻求诸多约束的有效组合。在一定意义上来说,产品设计问题就是分布式约束满足问题。

定义 1 (约束满足问题) 约束满足问题可以形式化定义为一个约束网络,表示为三元组 (V, D, C) , 其中 V 表示变量的集合, D 表示每个变量的值域的集合, C 表示变量之间的约束关系的集合, 即:

V 为产品设计过程中可定义的设计对象的特性或参数, 简称变量, 如功能、性能、尺寸及材料等。变量以 v_i 表示, 所有变量的集合记为 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 。

D 为变量 v_i 的取值范围, 简称值域, 用符号 D_i 表示。所有变量的值域集合记为 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ 。

C 为变量之间的约束关系的集合, $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$, 其中每一个约束 c_i 包含一个 V 的子集 $\{v_i, v_2, \dots, v_j\}$ 和一个约束关系 $R \subseteq D_i \times \dots \times D_j$ 。

定义 2 (分布式约束满足问题) m 个 Agent 表示为 A_1, A_2, \dots, A_m , 约束网络 (V, D, C) 中, 有 n 个变量 v_1, v_2, \dots, v_n 及 n 个变量的值域 $D_1, D_2, \dots,$

D_n ; 分布式约束满足问题是指每个 A_i 有一个或多个变量, 每个变量属于一个 A_i , 变量间的约束分布在 Agent 内和 Agent 之间。

1.2 产品设计冲突

产品设计冲突就是产品设计过程中由于违反约束关系使相互联系的对象之间存在不一致、不和谐、不稳定或相互矛盾的对立状态。也就是产品设计的分布式约束满足问题的求解过程中, 分配给变量的一组赋值, 违反了该变量之间的约束关系。

定义 3 (产品设计冲突) 产品设计约束网络 (V, D, C) 中, 一组对变量的赋值 $S(v_1, v_2, \dots, v_n) = \{d_1 \in D_1, \dots, d_n \in D_n\}$, $\exists C_r \in C$ 有 $S(v_{i_1}, \dots, v_{i_j}) = \{d_{i_1}, \dots, d_{i_j}\} \notin R$ 。

因此, 产品设计冲突消解是指共同参与产品设计任务的协作者或功能小组通过协调或协商等协同工作方式, 在各自的学科领域内给对问题中的变量进行赋值, 使其不违反任何约束的分布约束满足问题求解过程。

1.3 冲突消解存在的问题

基于分布式约束网络模型的产品设计冲突消解存在以下两个方面的困难:

1) 从设计的角度看, 产品的结构往往非常复杂, 主机厂内部各部门之间、主机厂与供应商之间以及供应商与供应商之间都存在众多的约束关系, 设计参数难以确定。随着设计进程的进一步深入, 新的设计参数和约束又会不断产生。设计变量具有动态性、分布性和不确定性, 基于启发式信息的分布式约束满足问题求解算法^[13-15]主要针对静态变量进行求解, 对分布式产品设计冲突消解问题存在一定困难。

2) 从协同的角度看, 产品设计可以看成是不同领域专家或设计人员, 在不同设计阶段从问题的不同侧面、层次(粒度)由粗到细、不断逼近设计结果的渐进过程。基于约束网络产品设计模型, 不能解决由于知识背景不同、角度不同、评价标准不一样而产生的设计冲突。

2 产品设计的多层次粒结构

2.1 粒计算的基本概念

定义 4 (粒度) 给定论域 X 和 X 上的一个关系 R , 使得 $X \rightarrow P(X)$ 且 $X = \bigcup_{i \in I} G_i$, 则称每一个 G_i 为一个信息粒子, $\{G_i\}_{i \in I}$ 为论域的一种粒度, 其中 $P(X)$ 为论域的幂集, I 为指标集。

定义 5 (粒的大小) 给定论域 X 和粒度划分 $X = \bigcup_{i \in I} G_i$, 则称粒子 G 的大小为 $d(G) = \frac{|G|}{|X|}$ 。当论域

为离散情形时 $d(G) = \int_G x = \text{Card}(G) = |G|$, 即积分表示信息粒所含个体的总数。

定义 6 (粒的粗细) 设 R 为给定论域 X 上全体等价关系, $R_1, R_2 \in R$, 若对 $\forall x, y \in X, xR_1y \Rightarrow xR_2y$, 则称 R_1 比 R_2 细, 简记 $R_2 < R_1$ 。

粒计算主要涉及两个最基本问题: 粒化和粒的计算。粒化是将问题空间分解为许多不同的子空间, 或者基于有用的信息和知识将问题空间中的个体聚集成不同的类, 这些类称为粒。问题空间的粒化过程主要涉及粒化准则、粒化算法、粒子和粒结构的表示及其语义描述。粒的计算就是以粒子为运算对象进行问题求解和推理, 讨论粒子在不同层次之间的关系, 以及粒子之间的转化和映射。

2.2 产品设计的商空间粒度模型

产品设计分布式约束网络模型缺乏足够的启发性信息, 给分布约束网络求解带来了困难。产品设计冲突消解需要建立一种包含更多启发性信息, 能包容不确定性、不完整信息, 能包含定量约束和定性约束信息的问题求解模型。

因此, 将产品设计约束网络 (V, D, C) 用三元组 (X, f, T) 表示, 其中:

X 是问题的论域, 表示产品设计过程中所有设计对象的设计参数, 如功能参数、性能参数、几何参数、工艺参数、时间参数以及任务参数等。

$f(\cdot)$ 是属性函数, 可用函数 $f: X \rightarrow Y$ 表示, 其中 Y 可以是 n 维空间 R^n 中的集合, 也可以是更一般的空间。 $f(\cdot)$ 是单值函数, 也可以是多值函数。即对论域中任一 $x \in X$, 有一个相应的 $f(x)$ 表示 x 的某些属性。如: $f(x) = \{f_v, f_o, f_T, \dots\}$, f_v 表示 x 的取值, f_o 表示 x 所属的设计对象, f_T 表示 x 的类型等。

T 是论域的结构, 即论域中元素之间的相互关系, 结构的描述可以用欧氏空间中的欧氏距离、内积空间中的内积、距离空间中的距离、半序空间中的半序、拓扑空间中的拓扑、网络中的图, 也可以是线性空间、群、环、格以及逻辑推理等。如设计参数之间的约束关系用约束网络拓扑来描述。

因此, 对产品设计分布式约束网络的求解转化为分析和求解问题 (X, f, T) , 即对论域 X 及其有关结构、属性进行分析和研究。

X 代表产品设计问题, 若对 X 进行简化, 产生一个较大粒度的论域 $[X]$, 就可以把原问题 (X, f, T) 变成新层次上的问题 $([X], [f], [T])$ 。如将属于同一个零件的设计参数看成是等价, 把他们归为一类, 作为新元素——“零件”, 然后再把零件构成的

集合作为新的论域 $[X]$ 加研究, 就可以使问题得到简化, 如图 1 所示。

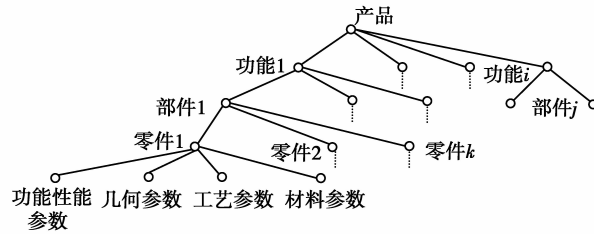


图 1 产品设计问题的多层次粒结构

给定问题 (X, f, T) , 指定 X 的一个等价关系 R , 由 R 产生的商集 $[X]$, 其中:

$[X]$ 为对应用等价关系 R 的商集 $[X] = X/R$;

$[f]$ 为商集 $[X]$ 的属性函数 $[f]: [X] \rightarrow Y$;

$[T]$ 设 T 是拓扑, 则定义商拓扑 $[T]: \{u | p^{-1}(u) \in T, u \in [X]\}$, $p: X \rightarrow [X]$ 是自然投影。

称 $([X], [f], [T])$ 为产品设计问题 (X, f, T) 的商空间。

2.3 不同粒度世界之间的关系

X 的所有不同的商集及其对应的商空间, 构成了产品设计问题 (X, f, T) 的不同粒度世界。产品设计粒计算冲突消解, 就是要分析和研究产品设计问题 (X, f, T) 在不同粒度世界的论域、属性、结构的表示和性质, 以及它们之间相互依存、相互转换的关系, 这样产品设计人员就可以在不同设计领域(不同粒度)之间相互跳转, 而且能往返自如。不同粒度世界之间具有以下关系:

设 R 是论域 X 一切等价关系的全体, $R_1, R_2 \in R$, 若对 $\forall x, y \in X, xR_1y \Rightarrow xR_2y$, 则 R_1 比 R_2 细, 即 $R_2 < R_1$ 。 R 在这种关系下形成一个完备半序格。当 $R_2 < R_1$ 时, $[X]_{R_2}$ 是 $[X]_{R_1}$ 的商集, 即给定论域 X , 其全体商集按包含构成一个完备半序格。

对于一个具体的问题 (X, f, T) , 当论域被划分后, 其结构也会发生变化, 一般来讲, 粒度变粗, 结构被简化, 但不同粒度世界之间性质具有保持性^[8]:

1) 若问题 $[A] \rightarrow [B]$ 在 $([X], [f], [T])$ 上无解, 则问题 $A \rightarrow B$ 在 (X, f, T) 上也一定无解。

2) 若问题 $[A] \rightarrow [B]$ 在 $([X], [f], [T])$ 上有解, 而且对于任一 $[x], p^{-1}([x])$ 在 X 上是连通集, 则问题 $A \rightarrow B$ 在 (X, f, T) 上也一定有解。

3 设计冲突的粒计算消解模型

3.1 对论域进行粒化

论域的粒化就是将产品设计领域中的设计参数

X 进行不同的分类。如:将与功能相关的参数归为一类,与几何尺寸相关的参数归为一类,与工艺相关的参数归为一类以及与过程信息相关的参数归为一类。由此可形成功能设计粒 X_1 、结构设计粒 X_2 、工艺设计粒 X_3 以及过程设计粒 X_4 等,使设计问题在不同的粒度上进行分析。

设 R_1 、 R_2 、 R_3 分别为参数与零件之间的所属关系,零件与部件之间的所属关系以及部件与产品之间的所属关系,则 $R_3 < R_2 < R_1$ 。

用 R_1 对 X_1 进行粒化,得商集 X_1/R_1 ,其对应的商空间 $(X/R_1, f_1/R_1, T_1/R_1)$ 为零件功能设计粒度空间。用 R_2 对 X_1 进行粒化,得商集 X_1/R_2 及其对应的商空间为部件功能设计粒度空间。用 R_3 对 X_1 进行粒化,得商集 X_1/R_3 及其对应的商空间则为产品功能设计粒度空间。

同理,分别用 R_1 、 R_2 、 R_3 对以上粒空间 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 进行粒化,得产品设计问题的不同粒度世界。依此过程,建立产品设计的分层递阶模型如图 2 所示。由此,将所有设计问题由粗到细、由全局到局部、由抽象到具体进行研究。

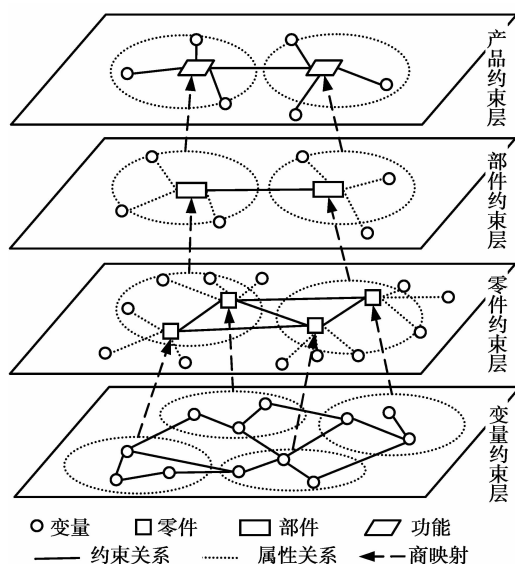


图 2 产品设计分层递阶粒计算模型

由产品设计分层递阶粒计算模型知:设计变量的取值及变量之间的约束受零部件之间约束的影响,零部件的各项属性及其之间的约束关系受部件及功能层的影响。因此,产品设计过程中若低层粒度空间存在冲突或无解,可以回溯到高层粒度空间进行约束松弛及冲突消解;在高层粒度空间消除冲突后跳转到低层粒度空间再进行求解。这种不同层次、不同粒度之间的往返可自如地进行。

3.2 不同粒度的转换

产品设计是不同功能小组在顾客需求域、功能域、物理域和过程域之间的映射与回溯的过程。不同领域(不同粒度)之间的映射和回溯过程,常常会因为信息的损失而产生矛盾或冲突。在产品设计分层递阶粒计算模型中通过商映射实现不同粒度之间的转换,以保持不同粒度的主要性质,减少或避免冲突的产生。

定义 7 (商映射) 设 X, Y 是拓扑空间, $q: X \rightarrow Y$ 是满射。若满足, V 是 Y 的任意开集当且仅当 $q^{-1}(V)$ 是 X 的开集, 则称 q 为商映射。

定义 8 (商结构) 给定对问题 (X, f, T) 和等价关系 R , 对 $A \subset X$ 具有性质 H , 若在 $[X]$ 中引入结构 $[T]$, 使得 $p(A)$ 在 $([X], [f], [T])$ 中也具有性质 H , 则称 $[T]$ 是 (X, f, T) 关于性质 H 的商结构。这里 p 是 $X \rightarrow [X]$ 的自然投影, 也是商映射。

有了商集和自然投影, 就容易将原来定义在 X 的运算、概念、函数等形式地移植到 $[X]$ 上去, 以保持其主要性质。如: $g: X \rightarrow X$, 那么可以在 $[X]$ 上定义对应的 $[g]: [X] \rightarrow [X]$, 令 $[g]([x]) = [g(x)]$ 。

一般来讲, g 在 (X, f, T) 的性质, 在 $[X]$ 上的 $[g]$ 不一定具备。这些性质经分类划分抽象之后, 在粗粒度世界中可能造成信息损失。为了避免和消除因这些信息的损失而产生的冲突, 需要设法修正分类 R 以得到合适的商集 $[X]$, 并构造适当的商结构 $[T]$, 使 $[g]$ 尽是保留 g 的一些主要性质。

产品设计问题 (X, f, T) 为拓扑空间, 映射 $p: X \rightarrow X/R$ 为自然投影, 为了使不同粒度中约束关系具有保持性, 建立商拓扑有两种方法:

第一, 从拓扑空间 X 出发, 建立 X 的一个等价关系 R , 在商集 X/R 上赋予商拓扑 $[T]$, 令 $[T] = \{V \subset X/R \mid p^{-1}(V) \text{ 是 } X \text{ 的开集}\}$ 。

第二, 建立 X 到 Y 的商映射, 使 (Y, δ) 成为拓扑空间。

3.3 不同粒度的合成

人类的有些认识活动通常是从浅到深, 由表及里, 从局部到全局的认识过程。如产品概念设计人员、结构设计人员、工艺设计人员等, 他们都是在不同层次、不同角度上对事物进行分析和了解, 产品设计的过程就是把这些零星、片面和了解综合汇总为系统、全面的认识。

定义 9 (粒度合成) 设 (X_1, f_1, T_1) 与 (X_2, f_2, T_2) 是对象 $A = (X, f, T)$ 在两个不同层次的了解, 定义它们的合成为 (X_3, f_3, T_3) , 它是 A 问题新的粒度空间, 是 A 的某一个层次, 是对问题 A 的共同认

识和理解,且满足如下条件:

- 1) X_1, X_2 是 X_3 的商空间;
- 2) T_1, T_2 是 T_3 上对应于 X_3 上的商结构;
- 3) f_1, f_2 是 f 在 X_1, X_2 上的投影且 (X_3, f_3, T_3) 满足一些最优准则。

不同粒度之间的合成可以通过以下方法实现。

1) 论域的合成。

定义 10 (论域的合成) 设划分 $X_1 = \{a_i\}, X_2 = \{b_j\}$, 则 X_1 与 X_2 的合成 X_3 表示为: $X_3 = \{a_i \cap b_j | a_i \in X_1, b_j \in X_2\}$ 。

以等价关系来表示论域合成: 设 R_1, R_2 是 X 上任意两等价关系, 若按包含关系 $R_1 < R_2$ 构成一个完备半序格, 令 R_3 是 R_1, R_2 的最小上界, 则 R_3 是 R_1, R_2 的合成。

2) 拓扑结构的合成。

定义 11 (拓扑结构的合成) T_1 与 T_2 的合成是 X 上所有拓扑构成的半序格中 T_1 与 T_2 的最小上界。

令 $B = \{w | w = u_i \cap v_i, u_i \in T_1, v_i \in T_2\}$, 以 B 为拓扑基, 构成的拓扑就是 T_3 。

3) 属性函数的合成。

定义 12 (属性函数的合成) (X_1, f_1, T_1) 与 (X_2, f_2, T_2) 的合成空间 (X_3, f_3, T_3) 的属性函数 f_3 满足下面条件的解:

$$p_i f_3 = f_i, i = 1, 2, \text{ 其中}$$

a. $p_i: (X_3, f_3, T_3) \rightarrow (X_i, f_i, T_i), i = 1, 2$, 是自然投影。

b. 设 $D(f, f_1, f_2)$ 是某一给定的最优判别准则, 则有

$$D(f_3, f_1, f_2) = \min(D(f, f_1, f_2)), \\ \text{或} = \max(D(f, f_1, f_2)).$$

4 应用案例

4.1 问题的描述

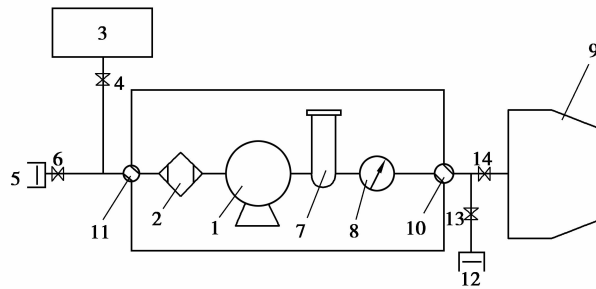
某加油设备由储运油单元和加油单元组成, 现将其集成为一个适于整体自装卸底盘装卸、运输的专用装备托盘, 并可通过模块的选择和匹配, 从而构成可满足不同顾客需求的定制产品。采用粒计算方法将该加油设备的设计问题表示为商空间三元组 $A = (X, f, T)$, X 为表示所有的待设计参数, f 表示各设计参数的属性, T 表示各设计参数之间的约束关系。

4.2 论域的粒化

论域的粒化也就是对该新产品进行模块化、标准化划分, 设计出一系列功能模块。设 R 为加油设

备的功能需求, 对问题 A 进行粒化 A/R , 得 $A_1 = (X_1, f_1, T_1)$ 。 A_1 表示功能粒度空间。 $X_1 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\}$ 为论域, 其中各元素分别表示提供原动力功能 x_1 , 供油动力功能 x_2 , 过滤功能 x_3 , 控制功能 x_4 , 储油功能 x_5 , 计量功能 x_6 以及加油功能 x_7 等。

设 R_1 为该新产品的功能原理到零部件模块之间的映射关系, 对 A_1 进行粒化 $A_2 = A_1/R_1$, 得 $A_2 = (X_2, f_2, T_2)$ 。 则 A_2 表示零部件粒度空间, 论域 $X_2 = \{x'_1, x'_2, x'_3, x'_4, x'_5, x'_6\}$ 为实现各功能的主要零部件及模块组合, 如: 动力机模块 x'_1 , 油泵模块 x'_2 , 过滤模块 x'_3 , 各种阀门 x'_4 , 油罐模块 x'_5 , 流量计模块 x'_6 等(如图 3 所示), f_2 为零部件共同属性, 如: 口径、流量、扬程等。 T_2 为零部件之间的功能约束, 如口径优先约束, 流量配置约束等。



1. 油罐; 2, 3. 球阀; 4, 9. 二位四通阀; 5. 滑片泵过滤器; 6. 油泵; 7. 过滤分离器; 8. 流量计; 10. 加油枪

图 3 加油单元的工作原理及主要零部件

设 R_2 为设计参数与零部件之间的所属关系, 对 A_2 进行粒化 $A_3 = A_2/R_2$, 得 $A_3 = (X_3, f_3, T_3)$ 。 A_3 表示设计参数粒度空间, 论域 X_3 各零部件的设计参数集合, 如动力机设计参数(功率、转速、压缩比以及工作循环等), 油泵的设计参数(类型、转速、扬程、流量、口径以及效率等), 油罐的设计参数(储油容积、壁厚以及出油口径等), 流量计的设计参数(计量形式、公称压力、流量、口径以及计量精度等)。 f_3 为设计参数属性, T_3 为设计参数之间的约束。

论域粒化后将该产品设计问题转换为在已构建的系列产品中模块的选型及模块间的匹配、匹配冲突与消解问题。

4.3 产品设计模块的选型

某客户对该产品的需求为: 可储运油 8 000 L, 可同时为 2 辆车加油; 额定流量(单枪) 60 L/min、最大流量(单枪) 100 L/min; 工作压力 0.2 MPa; 加油距离 < 15 m; 工作温度 $-41 \sim 46$ °C。

为提供满足客户需求的产品, 只需在系列化产

品中进行模块选型、模块匹配及匹配冲突与消解。以油泵的选型为例,油泵在 A_3 粒度空间需要确定的参数有转速、压差(又称为扬程)、流量、功率、效率以及泵重等设计参数。由于模块之间存在装配约束、空间约束以及功能约束等,泵的设计参数的确定需要在 A_1 、 A_2 、 A_3 粒度空间来回跳转,可能在不同粒度空间存在冲突。因此,建立不同粒度之间跳转时的约束匹配规则和冲突消解策略如下:

1) 泵类型的确定。用流量的大小来确定泵的类型,建立泵的选型规则为

当 $Q_{\max} > 60 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,选用离心泵。

当 $Q_{\max} \leq 60 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,选用容积泵。

2) 通径匹配规则。即管子的通径多大,所选择的泵的通径就多大。

3) 扬程匹配规则。所选泵的扬程要大于管路系统所需的扬程。

管路系统的扬程 $H = \Delta H + \sum H_{\text{管}}$, $\Delta H = \Delta P/\rho g$, 其中 ρ 为流体密度, g 为重力加速度, ΔP 为管路系统的工作压差。

4) 流量匹配规则。即所选油泵能提供的最大加油量要大于加油系统所需加油量。

5) 成本约束。在满足各项功能及质量约束的前提下,若产品目录中泵的富余超过 20% 时,需对泵进行改型设计,否则选择产品目录中的泵。

通过以上规则及冲突消解策略,对泵的选型进行计算,在供应商提供的产品目录中有型号为 SUB50-15/60 的泵符合设计要求,其流量为 $15 \text{ m}^3/\text{h}$ 。然而,此时实际所需的最大流量只为泵能提供最大流量的 40%,存在着流量浪费。因此,需要对泵进行改型设计,减小泵的流量。根据往复式容积泵的工作原理再对泵进行粒化,将泵划分为缸体、活塞、活塞杆、吸入阀以及排出阀等(如图 4 所示)。

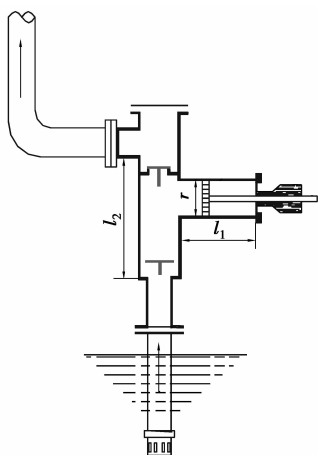


图 4 往复式容积泵的工作原理示意图

往复式容积泵的流量公式为

$$q_{\text{VT}} = \frac{zA_{\text{F}}s n_{\text{r}}}{60}$$

其中: z 表示泵的缸数; A_{F} 表示活塞面积; s 表示冲程; n_{r} 表示往返次数。由流量公式可知,泵所提供的流量受泵的缸数、活塞面积、冲程以及活塞往返次数的影响。在一般情况下,对于满足要求的泵不会去改变其缸数,而活塞往返次数是能够控制的。对泵进行改型设计往往是改变泵的活塞面积和冲程。因此,对泵的设计参数 l_1 、 l_2 以及 r 进行修改。改型设计后的活塞杆长度为原来长度的 0.630 倍,而活塞的半径为原来的 0.794 倍,从而使加油车的最大加油流量能达到油泵的最大流量的 80%。表 1 为该产品的粒化结果及设计参数的取值。

表 1 产品粒化及参数取值

功能模块	零部件	设计参数	参数值
原动力模块	动力机	功率	3.7 kW
		转速	1 440 r/min
		压缩比	18
供油动力模块	油泵	类型	容积泵
		转速	1 440 r/min
		扬程	19.6 m
		流量	$7.5 \text{ m}^3/\text{h}$
		通径	DN50
		效率	80%
精滤模块	过滤分离器	精度等级	$10 \mu\text{m}$
粗滤模块	过滤器	精度等级	$80 \mu\text{m}$
控制模块	球阀	通径	DN50
	二位四通阀	通径	DN50
储油模块	油罐	额定容积	11 m^3
计量模块	流量计	计量精度	0.5 级
加油模块	加油枪	流量范围	$0.9 \sim 4.5 \text{ m}^3/\text{h}$
	法兰	厚度	16 mm
联接模块	管子	通径	DN50
		壁厚	3 mm

粒度合成规则

通径匹配、扬程匹配、流量匹配、成本最优

5 结 论

产品设计冲突消解在一定意义上来说是不确定性分布式动态约束满足问题的求解过程。将产品设计问题转换为高空间粒度世界,建立产品设计的分

层递阶粒计算模型,将产品设计冲突消解的分布式动态约束满足问题转化分层次、逐层求解的方法。该方法便于产品设计各功能小组从不同的粒度层次和侧面来考察和分析问题,实现不同粒度世界的自由转换,从而避免和消除设计冲突。该分层递阶粒计算冲突消解方法简化了分布式动态约束满足问题并降低了计算复杂性。

参考文献:

- [1] 盛步云,林志军,丁毓峰,等. 基于粗糙集的协同设计冲突消解事例推理技术[J]. 计算机集成制造系统,2006,12(12):1953-1956.
SHENG BU-YUN, LIN ZHI-JUN, DING YU-FENG, et al. Rough set-based conflict resolution case reasoning in collaborative design [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2006,12(12):1953-1956.
- [2] LEE K H, LEE K Y. Agent-based collaborative design system and conflict resolution based on a case-based reasoning approach [J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM, 2002, 16(Compendex):93-102.
- [3] POPESCU C, LASTRA J L M. Matrix-based conflict resolution algorithm: Application to path selection in PN-based scheduling search [C]// Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, September 13-16, 2010, Bilbao, Spain. [S.l.]: IEEE Computer Society, 2010: 1-4.
- [4] 谢洪潮,陈大融,孔宪梅. 协同设计中基于约束的冲突检测[J]. 中国机械工程,2002,13(18):1590-1593.
XIE HONG-CHAO, CHEN DA-RONG, KONG XIAN-MEI. Constraint-based conflict detection in collaborative design[J]. China Mechanical Engineering, 2002, 13(18): 1590-1593.
- [5] MEDLAND A J, MATTHEWS J, MULLINEUX G. A constraint-net approach to the resolution of conflicts in a product with multi-technology requirements[J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2009, 22(3):199-209.
- [6] RAU H, FANG Y T. Conflict resolution of product package design for logistics using the triz method[C]// Proceedings of the 2009 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, July 12-15, 2009, Baoding, China. [S.l.]: IEEE Press, 2009:2891-2896.
- [7] LIN T Y. Granular Computing, announcement of the BISC special interest group on granular computing [EB/OL]. (1997). http://www2.cs.uregina.ca/~yyao/PAPERS/three_perspective.pdf.
- [8] 张铃,张钺. 问题求解理论及应用:商空间粒度计算理论及应用[M]. 2版,北京:清华大学出版社,2007:12-26.
- [9] 刘仁金,黄贤武. 图像分割的商空间粒度原理[J]. 计算机学报,2005,28(10):1680-1685.
LIU REN-JIN, HUANG XIAN-WU. The granular theorem of quotient space in image segmentation[J]. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(10): 1680-1685.
- [10] 张铃,张钺. 基于商空间粒度计算的系统性能分析方法[J]. 计算机科学,2004,31(z2):6-8.
ZHANG LING, ZHANG BO. The analysis of system performances based on quotient space granular computing[J]. Computer Science, 2004, 31(22): 6-8.
- [11] GAN Q, WANG G Y, HU J. A self-learning model based on granular computing [C]//Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Granular Computing, Atlanta, USA. [S.l.]: IEEE Press, 2006: 530-533.
- [12] 张曼,吴涛,王伦文,等. 商空间粒度计算理论在数据库和数据仓库中应用[J]. 计算机工程与应用,2003,39(17):47-49.
ZHANG MAN, WU TAO, WANG LUN-WEN, et al. The application of granularity of the quotient space theory in database and data warehouse[J]. Computer Engineering and Applications, 2003, 39(17): 47-49.
- [13] YOKOO M, DURFEE E H, ISHIDA T, et al. Distributed constraint satisfaction for formalizing distributed problem solving [C]// Proceedings of the 12th Int'l Conf. on Distributed Computing Systems (ICDCS'92). Los Alamitos, USA. [S.l.]: IEEE Computer Society Press, 1992, 614-621.
- [14] YOKOO M. Asynchronous weak-commitment search for solving distributed constraint satisfaction problems[C]// Proceedings of the 1st Int'l Conf. on Principles and Practice of Constraint Programming (CP'95), Berlin. [S.l.]: Springer-Verlag, 1995: 88-102.
- [15] YOKOO M, HIRAYAMA K. Distributed breakout algorithm for solving distributed constraint satisfaction problems[C]// Proceedings of the 2nd Int'l Conf. on Multiagent Systems (ICMAS'96), Cambridge, UK. [S.l.]: MIT Press, 1996: 401-408.