



一种新颖的模糊化定制产品设计方法的研究

王以忠¹, 龙 婷¹, 陈永华²

(1. 天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222; 2. 香港大学机械工程系, 香港特别行政区)

摘 要: 提出了一种新颖的由顾客设计定制产品的方法. 该方法用模糊参数描述产品的模型, 顾客可以根据自己的需要或喜好, 使用符合人类思维和表达的语言性描述对产品的参数进行修改, 得到自己满意的定制产品. 以玻璃杯的模糊参数设计为例, 说明了该方法的有效性和实用性.

关键词: 大规模定制; 产品设计; 参数化设计; 模糊逻辑

中图分类号: TP391.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-6510 (2007) 03-0054-04

Study on a Novel Fuzzy Product Design Method for Mass Customization

WANG Yi-zhong¹, LONG Ting¹, CHEN Yong-hua²

(1. College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China;
2. Department of Mechanical Engineering, The University of Hong Kong, Hong Kong SAR, China)

Abstract: A novel customized product design method was proposed. Fuzzy parameters were used to describe the model of a product. According to their particular desires or preferences, customers can design a customized product by modifying the product model using linguistical descriptions with the nature of human being's thinking and expression until a satisfied product is got. A fuzzy glass customization program was implemented to verify the proposed method with satisfied results.

Keywords: mass customization; product design; parametric design; fuzzy logic

随着消费水平的提高和制造技术的发展, 消费者对于产品的要求也更加体现出个性化、差异化的特点, 产品要能够体现出个人的特性, 大规模定制应运而生. 大规模定制就是向每一个顾客提供针对其需求而制造出完全个性化的产品^[1]. 把顾客包容到产品的设计生产过程中来, 能使企业生产更符合顾客要求的产品^[2]. 由顾客直接设计定制产品, 能够使顾客的个性化需求得到最充分的满足.

在机械工程设计中, 参数设计是进行结构模型定义和修改的一种有效工具. 它是快速尺寸设计变换、零件家族的有效设计、概念设计、基于知识的设计自动化等的一项基础技术^[3]. 使用参数设计, 设计者可以通过改变参数的值来创造出新的形状、对现有的设计做出调整且无需知道它们在最终设计中的精确设置^[4]. 现有的参数设计方法和程序都是基于定量描述的. 这种定量描述使用精确的数据, 或者精确数据附

加误差范围, 只适用于专业设计者使用.

在日常生活中, 人们已经习惯用自然的语言来传递知识和信息. 诸如大、小、高、正常、低等等之类的陈述都是不准确的、不清楚的或是模糊的, 从某种意义上说, 它们不能被严格定义. 但是, 人们确实能明白这类信息的意思, 并能用它来做决定或是描述一些物体. 模糊逻辑能涉及不同类型的含糊和不确定, 尤其涉及到人类语言和思想中的含糊^[5]. 用模糊逻辑来处理语言的输入是可行的.

本文提出了一种由顾客设计定制产品的方法. 该方法基于产品模型, 让顾客通过不精确的语言描述改变其模糊描述参数来实现满足自己的特殊需要和喜好的产品. 该方法将产品参数分为两类: 基本参数和导出参数. 决定产品基本形状的参数, 如长、高、宽、直径等都是基本参数, 用模糊参数来表示. 导出参数指那些不显著影响产品形状的参数, 如倒角等. 导

收稿日期: 2007-01-15; 修回日期: 2007-05-20

基金项目: 天津科技大学引进人才基金资助项目 (0200027)

作者简介: 王以忠 (1963—), 男, 天津人, 教授, 博士, 主要从事大规模定制、光电和无线测控技术的研究.

出参数由基本参数和产品特性根据规则决定. 因而, 绝大多数非专业设计者, 甚至是普通的消费者, 即使对机械设计和各种复杂的计算机辅助设计软件都不熟悉的人, 也能设计出他们喜欢的个性化产品.

1 模糊推理

模糊逻辑是由 Zadeh 提出并且进行理论构建的^[6-8]. 近几十年来, 模糊逻辑已成为从工程系统控制到人工智能等许多应用中重要的工具^[9-13].

1.1 推理规则

模糊推理是使用 IF-THEN 格式的推理规则来实现的. 语言规则可以在一定程度上模拟人类思想过程. 代表输入变量与输出变量之间的变换关系的 IF-THEN 规则, 在模糊推理中通常表示为

- IF A_1 and/or B_1 , THEN H_{11} , else
- IF A_2 and/or B_1 , THEN H_{21} , else
- IF A_1 and/or B_2 , THEN H_{12} , else
- IF A_2 and/or B_2 , THEN H_{22} .

其中, “and/or”表示逻辑和或交; A 和 B 是模糊输入变量, 称为前提; H 是每个规则的操作, 称为结果. A 、 B 和 H 都是模糊量.

当输入变量只有一个时, 即 IF A_1 THEN H_1 , IF A_2 THEN H_2 , ..., IF A_n THEN H_n , 代表输入到输出之间的一种简单关系. 然而, 常见的模糊逻辑问题包含不止一个输入变量. 两个输入变量的 IF-THEN 规则见表 1.

表 1 两个变量的模糊规则

Tab. 1 Fuzzy rule tabulation of two variable

变量 1	变量 2	
	B_1	B_2
A_1	H_{11}	H_{12}
A_2	H_{21}	H_{22}

模糊输入变量越多, 其 IF-THEN 规则也就越难以用表格表示. 如果将描述分解, 表格化表达将会大大简化. 例如: 初始问题的陈述为

IF A_i and B_j and C_k , THEN H_{ijk} .

这个陈述可以分解为

IF A_i and B_j , THEN H_{ij} .

IF H_{ij} and C_k , THEN H_{ijk} .

H_{ij} 是一个模糊量, 即中间变量; H_{ijk} 也是一个模糊量. 三个变量的模糊准则分解后, 得到两个模糊准则, 分别是表 1 的模糊准则和表 2 描述的中间变量与第 3 个变量间的模糊准则. 这一分解过程可以很容易扩展到更多变量.

表 2 中间变量与第 3 个变量间的模糊规则

Tab. 2 Fuzzy rule tabulation between intermediate variables and the third variable

变量 3	中间变量			
	H_{11}	H_{12}	H_{21}	H_{22}
C_1	H_{111}	H_{121}	H_{211}	H_{221}
C_2	H_{112}	H_{122}	H_{212}	H_{222}

1.2 逆模糊化

逆模糊化是模糊推理中一个非常重要的过程. 一般说来, 逆模糊化是将函数间成员关系取样以找出成员关系的等级的过程; 然后成员关系的等级被用于模糊逻辑等式中, 并定义出结果区域. 由此, 推导出输出量. 得到输出量的方法有很多, 本文采用质心法, 即将输出模糊量的重心作为输出量的值:

$$y_0 = \int u_H(y)y dy / \int u_H(y) dy$$

2. 模糊化定制产品设计

2.1 模糊输入

所有输入参数都由模糊量来表示. 图 1 给出了模糊量的成员关系函数, 成员关系被分为 5 个等级: very small, small, normal, large and very large. “0”和“1”分别表示最小值和最大值.

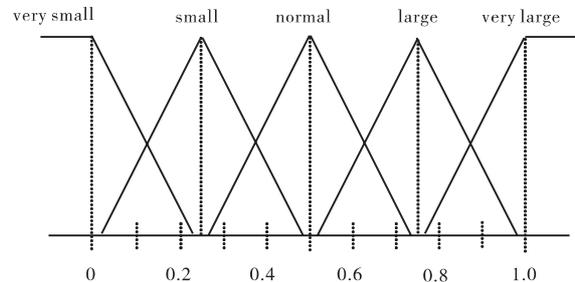


图 1 成员关系函数

Fig. 1 Membership functions

2.2 参数推导

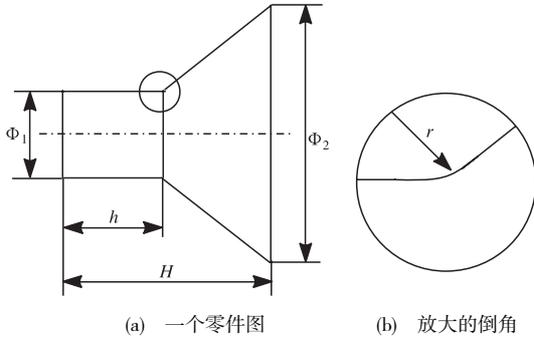
产品的参数被分为两类: 基本参数和导出参数. 显著影响产品外形的参数, 如高度、宽度、直径等, 是基本参数, 是由使用者输入的. 而不显著影响产品外形的参数, 如倒角等, 则是导出参数. 导出参数根据产品的属性和重要参数使用模糊推理得出. 这对有着复杂精确数学模型的复杂形状的产品而言是既方便又省时的.

如图 2 所示, 一个简单零件由一个圆柱和一个圆锥两部分组成. 其参数中 H, h, Φ_1 和 Φ_2 是基本参数; 倒角半径 r 是导出参数, 根据 H, h, Φ_1 和 Φ_2 由模糊准则来推导. 模糊准则是基于产品的一般常识来定义

的,下面是两个例子:

IF H is large and h is large and Φ_1 is small and Φ_2 is small, THEN r is normal;

IF H is small and h is small and Φ_1 is large and Φ_2 is large, THEN r is normal.



(a) 一个零件图 (b) 放大的倒角

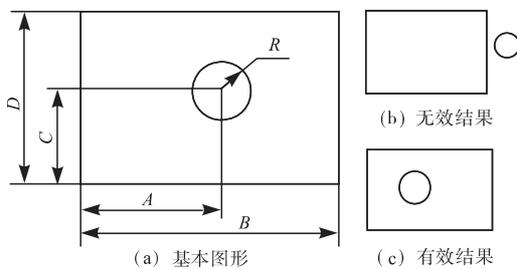
图 2 一个部件及其倒角
Fig. 2 One part and its fillet

2.3 参数的相互作用

产品的参数必须有所约束. 有时, 参数的设置会导致一个无效的设计结果. 如图 3(a)所示一个二维图形, 包含一个长方形和一个在长方形内部的圆形. 设定 R 为圆的半径. 若 A 的值使得 $A+R>B$, 将会产生一个无效的结果, 如图 3(b)所示. 有两种方法可以解决上述问题: 一是当参数间出现冲突或形成不理想的结果时, 提示使用者; 二是通过某些方法来确保有效的结果. 本文中采用的是后者.

由于模糊化定制产品设计方法是随产品而定的, 有两种方法能保证有效的结果: 一是指定这些变量的范围以避免冲突; 二是用模糊论证来调整参数. 选择何种方法取决于产品的属性.

使用第一种方法, 例如 A , B 和 R 的最大值可分别指定为 50, 90 和 12; 最小值可分别指定为 30, 70 和 8. 从而确保得到有效结果如图 3(c)所示.



(a) 基本图形 (b) 无效结果 (c) 有效结果

图 3 参数间的相互作用
Fig. 3 Interaction of dimensions

如果 A , B 和 R 的最大值分别为 50, 80 和 12; 最小值分别为 30, 60 和 8, 则用第二种方法. 假设将 A , B

和 R 分成 5 个等级: very large, large, normal, small, very small. 当满足 A is very large, B is very small and R is very large, $A+R$ is larger than B . 依据零件或产品的属性需要下列模糊规则之一:

IF A is very large, B is very small and R is very large THEN A is large, B is very small and R is very large;

IF A is very large, B is very small and R is very large THEN A is very large, B is small and R is very large;

IF A is very large, B is very small and R is very large THEN A is very large, B is very small and R is very small.

使用以上的模糊规则, 也能保证得到如图 3(c)所示的有效结果.

2.4 更多参数等级和参数限制

在上面的论述中, 参数在特定尺寸范围中被划分成 5 个等级. 这通常不能满足有些消费者的要求. 因此, 需要加入更多的等级来扩大参数的尺寸范围. 如果要求一个参数比 very small 还要小, 可以使用 smaller. 同样, larger 的选项也被加入进来, 以适应比 very large 更大的选择.

另外, 某些参数是要加以限制的. 例如, 图 3 中的圆直径不能小于等于零, 且不能大于 B 或 D . 因而, 参数的限制应提前定义. 当参数将会超出限制时, 程序对使用者给出提示.

3 实例

为验证上述模糊化定制产品设计方法, 本文中实现了一种设计玻璃杯的计算机辅助设计程序. 用户通过模糊输入或数字输入设计自己喜爱的玻璃杯.

3.1 参数定义

如图 4 所示, 一个玻璃杯总共有 7 个参数: 玻璃

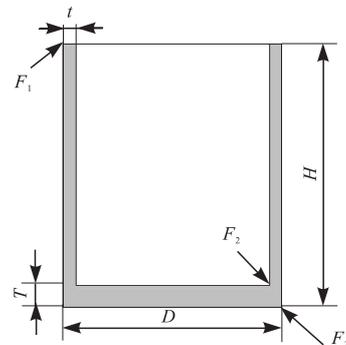


图 4 玻璃杯的参数定义

Fig.4 The pre-defined parameters of a glass

杯直径 D ; 玻璃杯高度 H ; 底部高度 T ; 玻璃杯厚度 t ; 上边缘倒角 F_1 ; 底边缘倒角 F_2 ; 内边缘倒角 F_3 .

在模糊化定制程序中, 参数 D, H, T , 和 t 作为重要参数必须由用户输入. 参数 F_1, F_2 , 和 F_3 则根据输入参数, 运用模糊推理自动推导出来.

3.2 倒角的模糊规则

倒角 F_1, F_2 , 和 F_3 的值由模糊推理方法来决定. 以上边缘倒角 F_1 为例说明推理过程. 如图 5 所示, F_1 使玻璃杯的上边缘变得平滑, 玻璃杯的厚度 t 和玻璃杯的直径 D 是输入变量, 上边缘倒角 F_1 为输出量. 使用 IF-THEN 规则, 模糊规则可用表 3 表示. 可以看出,

玻璃杯的厚度 t 对上边缘倒角 F_1 的影响比玻璃杯的直径 D 要大.

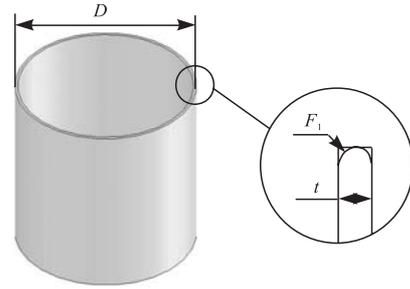


图 5 t, D 和 F_1 图示
Fig. 5 Illustration of t, D and F_1

表 3 表格化的 F_1 模糊准则

Tab. 3 Tabulation of fuzzy rules for F_1

D	t				
	very small	small	normal	large	very large
very small	very small	very small	normal	normal	large
small	very small	small	normal	large	large
normal	very small	small	normal	large	very large
large	small	small	normal	large	very large
very large	small	normal	large	very large	very large

3.3 参数限制

为获得玻璃杯的合理形状, 设置以下约束限制: t 必须大于零; t 必须小于 $D/3$; T 必须大于零; T 必须小于 $H/2$; H 必须大于 $3T$; D 必须大于 $3t$.

3.4 程序实现

编制了玻璃杯模糊化定制程序. 程序设计了两种输入模式: 数字参数输入和模糊参数输入. 图 6 为玻璃杯的模糊参数输入界面. 当输入一个参数时, 相应的参数将被突出显示. 参数全部输入后, 显示设计的玻璃杯的模型. 图 7 为玻璃杯的一个设计模型. 该程序实现了使用模糊参数进行产品设计, 证明了该方法的可行性. 为了实现产品设计的美观和个性化等效果, 尚须对方法和程序进一步完善.

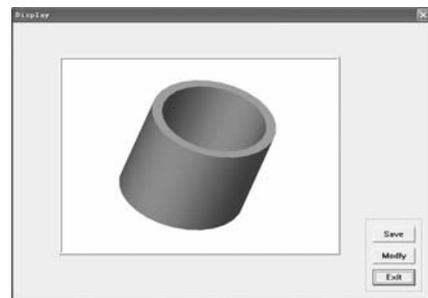


图 7 一个玻璃杯的设计实例

Fig. 7 A designed glass

4 结 论

本文提出了一种新颖的由顾客设计定制产品的方法. 该方法的目的在于为不熟悉机械设计和复杂的计算机辅助设计软件的消费者提供一种方便的设计方法, 使他们能根据个性喜好, 用不精确的语言描述, 如高、大、中、小等进行产品设计. 该方法只要求输入重要参数, 其他参数用模糊推理得出. 为验证提出的方法, 本文实现了一个玻璃杯的模糊定制设计程序. 用户可以根据喜好选择模糊描述或是数字输入, 设计出具有个性化的玻璃杯.

(下转第 75 页)

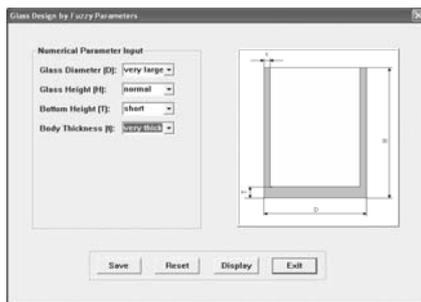


图 6 模糊参数输入界面

Fig. 6 The fuzzy parameter input interface