

DOI:10.3969/j.issn.2095-509X.2018.01.021

基于批量生产的个性化产品设计研究

江优雅, 刘 苏

(南京航空航天大学机电学院, 江苏 南京 210016)

摘要:为了能够同时满足消费者的个性化需求和低廉价格需求,需要有一种在批量设计基础上的个性化产品设计方法。以模块化产品设计思想为基础,首先将现有的产品根据拆卸工作指数进行拆分,然后用解释结构模型将拆分的产品零件进行模块化分类,接着对划分好的产品模块进行个性化丰富设计,形成一个产品零件开发系统,最后对零部件进行产品链梳理、编码,形成基于批量生产的个性化产品体系。

关键词:个性化产品;模块化设计;拆卸工作指数;解释结构模型

中图分类号: TP319

文献标识码: A

文章编号: 2095-509X(2018)01-0090-05

随着现代工业生产技术的不断发展,批量生产已经成为工业生产的主要方式^[1]。作为实现大批量生产、敏捷制造的重要一环,产品模块化已经成为工程产品的主要发展方向之一^[1-6]。基于模块化的产品设计技术能够有效地提高设计资源利用率,降低产品的装配和管理成本,并且使产品在全生命周期中易于管理和维修,还能简化设计过程和促进产品更新,同时也是基于批量生产的个性化产品定制成功的关键。2013年,德国在汉诺威工业博览会上提出了“工业4.0”的概念,又将模块化设计推向了新的高度。“智能工厂”作为“工业4.0”的核心思想,提出了建立高度灵活个性化和数字化产品与服务的生产模式。这也就意味着,在物理系统(物联网)和信息系统(互联网)的辅助下,智能工厂能够在批量生产的基础上为客户提供个性化的服务^[7-9]。

1 研究模型纲要

为了将产品进行科学的模块划分,本文首先根据拆卸工作指数(disassemble effort index, DEI)将产品进行拆分;然后运用解释结构模型(interpretive structural model, ISM)对拆分的产品零件进行模块划分;随后对模块进行设计拓展,对个性化产品进行模块链的梳理,整合成一个个性化的产品开发系统;最后通过用户反馈,对产品进行改进与迭代。具体过程如图1所示。

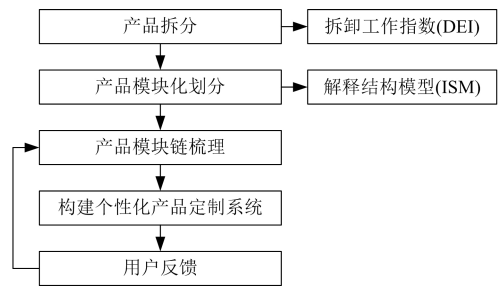


图1 研究模型纲要

2 理论基础

2.1 拆卸工作指数

在设计过程中,考虑到产品拆卸与组装的因素,DAS等引入了产品拆卸工作指数来指导产品的设计。拆卸工作指数主要包括7个因素:1)拆卸所需时间;2)拆卸工具;3)固定装置;4)拆卸路径;5)拆卸指导;6)拆卸风险系数;7)拆卸所需用力。对于大多数产品,都可以通过对以上7个要素的评估构建对比表格,从而得出相关的拆卸/安装设计指导。

2.2 产品模块化理论

设计过程中根据产品零部件对不同功能、形态等因素的贡献度,可以将产品的模块划分为3类。

1)独立模块。在贡献度上与平行产品线的模块完全不同,通常不能被其他模块所替换。

2)相似模块。在贡献度上与平行产品线的模块有部分相似,部分不同,因此可以被某些相似的

收稿日期:2016-11-09

作者简介:江优雅(1992—),女,福建邵武人,南京航空航天大学硕士研究生,主要研究方向为用户体验。

模块所替换。

3) 相同模块。在贡献度上与平行产品线的模块完全相同,因此在通用模块之间可以进行相互替换。

2.3 解释结构模型

解释结构模型是由美国的 J. N. WARFIELD 教授作为分析复杂的社会经济系统结构问题的方法于 1973 年首次提出的,目前已经广泛应用于很多领域当中。它的基本思想是将复杂的系统分解为若干子系统要素,利用人们的经验、知识以及在计算机的帮助下,形成一个多级阶梯的结构模型。它能够把模糊的认知转化为直观的模式,因此适用于关系复杂、结构模糊问题的分析,能够有效地帮助决策者理清思路、作出正确的决策^[10-12]。

如今,为了能够快速准确地对复杂产品进行层次结构划分,张雷等^[10]提出用解释结构模型进行产品零部件的拆卸序列规划;在产品族设计方案的探讨中,HSIAO 等^[13-14]也用解释结构模型进行产品的模块划分。解释结构模型的工作流程如图 2 所示。

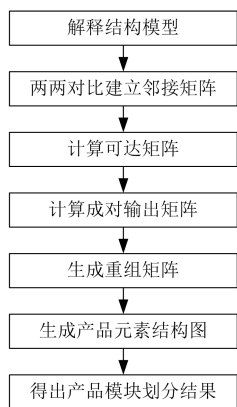


图 2 解释结构模型工作流程图

1) 构建两两对比矩阵。

将产品拆分为 N 个不同的零件,对它们进行排序并且编号为 a_i 。为了对比零件与零件之间的关系,将它们进行两两对比,构成一个邻接矩阵 $[A]$ 。邻接矩阵的构成元素由以下原则获得:

①对于两两对比的零件 a_i 和 a_j ,如果零件 a_i 对零件 a_j 有影响,则 $a_{ij} = 1$,否则 $a_{ij} = 0$ 。

②对于两两对比的零件 a_i 和 a_j ,如果零件 a_j 对零件 a_i 有影响,则 $a_{ji} = 1$,否则 $a_{ji} = 0$ 。

③对于两两对比的零件 a_i 和 a_j ,相互之间没有影响,则 $a_{ji} = a_{ij} = 0$ 。

④对于两两对比的零件 a_i 和 a_j ,相互之间有影响,则 $a_{ji} = a_{ij} = 1$ 。

假设一个产品能够拆分为 7 个不同的零件,将万方数据

其分别编号为 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_7$ 。对 a_2 无影响,因此 $a_{12} = 0$; a_2 对 a_1 有影响,则 $a_{21} = 1$; a_2, a_3 之间相互没有影响,则 $a_{23} = a_{32} = 0$ 。依次将零件两两对比,可得邻接矩阵 $[A]$,如图 3 所示。

$$[A] = \begin{matrix} & \begin{matrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & a_7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

图 3 邻接矩阵

2) 计算可达矩阵。

由邻接矩阵 $[A]$ 经过计算得出可达矩阵 $[B]$,如图 4 所示。可达矩阵代表了零件与零件之间所有直接或间接的相关性,关系传递性是解释结构模型中一个基础的假设之一。“可达”在图论理论中解释为:在有向图中一个顶点移动到另一个顶点的能力。这是在图形中找出关联部件的必要因素。可达矩阵的计算公式为:

$$[B] = [A]^{(1)} \vee [A]^{(2)} \vee \dots \vee [A]^{(n)}$$

式中 \vee 表示布尔加。

$$[B] = \begin{matrix} & \begin{matrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & a_7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

图 4 可达矩阵

3) 计算成对输出矩阵。

由可达矩阵 $[B]$ 经过计算得出成对输出矩阵 $[C] = [B] \cdot [B]^T$,如图 5 所示。在解释结构模型分析的过程中插入一种用户集群检索的技术,以此来识别相互关联的零件并形成闭环,这样就可以通过重新排列组件顺序容易地识别出组件层级。

$$[C] = [B] \cdot [B]^T = \begin{matrix} & \begin{matrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & a_7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

图 5 成对输出矩阵

4) 生成重组矩阵。

将得到的成对输出矩阵[*C*]通过重组得出重组矩阵[*D*],如图6所示。根据成对输出矩阵[*C*]的结果,将其中 $a_{ij} = a_{ji} = 1$ (即相互影响的元素)进行整理归类后就能得出重组矩阵[*D*]。不难看出,所有具有相互影响的零件之间已经形成聚类。

$$[D]=[C]= \begin{matrix} & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & a_7 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

图6 重组矩阵

5) 输出产品元素结构图。

通过重组矩阵[*D*]能够得出一组数据,分别横向相加、纵向相加,得到数据 V_i 与 H_i ,再计算 $V_i + H_i$ 与 $V_i - H_i$,如图7所示。将所表示的零件根据 $V_i + H_i$ 、 $V_i - H_i$ 的坐标表示在二维坐标系中,如图8所示, $V_i + H_i$ 表示零件的“独立-相关”程度,为横轴; $V_i - H_i$ 表示零件的“受控-主导”程度,为纵轴,由此可以得出产品零件的模块划分及层级关系,如图9所示。

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	V_i	V_i+H_i	V_i-H_i
a_1	1	0	0	0	0	0	0	1	8	-6
a_2	1	1	1	0	1	1	1	6	8	4
a_3	1	0	1	0	1	0	1	4	10	-2
a_4	1	0	1	1	1	0	1	5	6	4
a_5	1	0	1	0	1	0	1	4	10	-2
a_6	1	1	1	0	1	1	1	6	8	4
a_7	1	0	1	0	1	0	1	4	10	-2
H_i	7	2	6	1	6	2	6			

图7 产品元素结构图

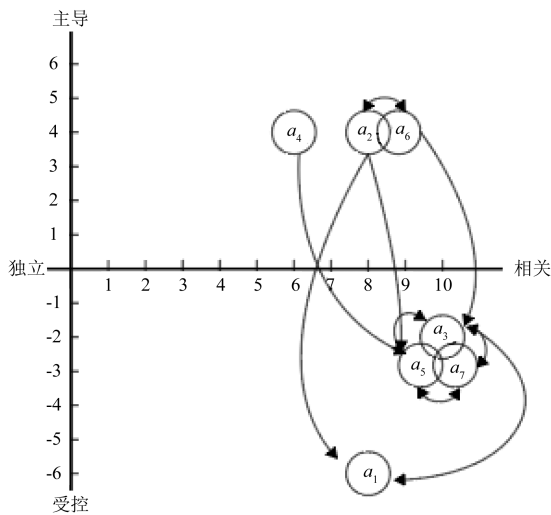


图8 产品零件关系坐标图

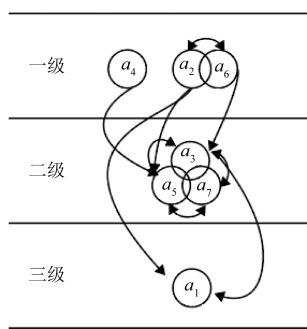


图9 产品零件层级关系图

6) 得出产品模块划分结果。

根据二维表示图即可得出产品零件的模块划分结果。这个过程运用解释结构模型帮助设计师们通过理性的方法得到零件之间的层级关系,使产品的模块化更加高效地运用到设计中。

3 案例应用

本文选用自行车作为实验案例。

1) 将自行车根据拆卸工作指数进行拆分,如图10所示。

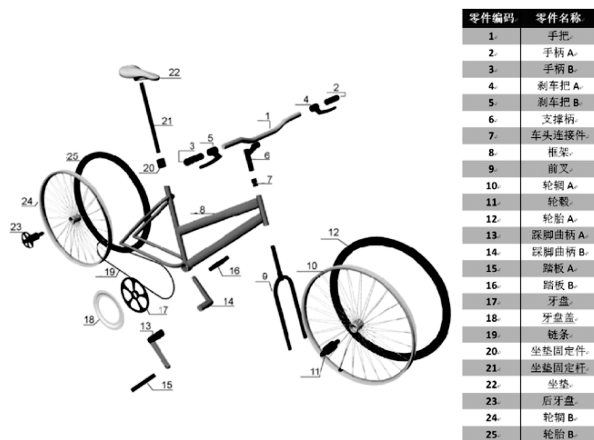


图10 自行车产品拆分图

2) 所有的零件用解释结构模型进行模块划分。

根据拆分的零件进行解释结构模型分析,将自行车划分成为6个产品模块,分别是:

- 车头: {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}
- 坐垫: {20, 21, 22}
- 框架: {8, 9}
- 车轮: {(10, 11, 12), (23, 24, 25)}
- 牙盘: {17, 18, 19}
- 脚踏板: {13, 14, 15, 16}

3) 产品模块链梳理。

模块划分之后,设计师可以通过对用户和市场的调研得出用户需求,并以此为基础进行进一步的产品设计。如图11所示,产品设计师依据模

块划分对自行车的相应块进行了再设计,构成了一条可以供消费者根据自己喜好进行组合搭配的产品链。








































	种类1	种类2	种类3	种类4	种类5	种类6	种类7	种类8	种类9
车头 (CT)									
坐垫 (ZD)									
车架 (KJ)									
车轮 (CL)									
牙盘 (YP)									
脚踏板 (JTB)									

图11 自行车产品模块链

4) 构建个性化产品定制系统。

在现阶段信息技术高速发展的背景下,移动客户端成为消费者最喜爱的消费平台之一。为了获得更大的用户群体和更多消费者的青睐,本文的个性化产品定制系统选用手机作为系统平台进行开发。图12为个性化产品定制系统的效果图。



图12 个性化产品定制系统效果图

5) 用户反馈。

用户在选购产品时对产品的各类需求都可以成为设计师设计时的参考。将用户选购产品时的相关数据用一定的方法进行处理后,能够得出用户对产品模块、功能、外观以及附加性能的需求取向,设计师不仅能够根据这些数据进行设计,还能根据这些数据对现有模块进行修改与完善,使产品更加满足客户的需求。

万方数据

4 结束语

随着工业生产技术的发展以及用户要求的日益提高,“互联网+工业”思想是一个应运而生的良好对策。通过互联网技术,设计者能直接了解用户的需求,也使用户能直接享受到更周到的服务,从而节省了很多中间环节的开支,降低了产品成本,节约了资源。

在这样一个过程中,工业设计师扮演的角色至关重要。设计师是工厂与用户间的桥梁,设计师能够根据客户的需求给工厂的生产提供正确的建议,设计师也能够根据工厂所能提供的生产方式给出合理的设计方案。在整个个性化产品开发过程当中,设计师根据工厂提供的模块划分和客户提供的的需求,给出各种不同的模块以供客户选择,既能最大程度地满足客户对产品的需求,又能在批量生产的基础上节约生产成本。

参考文献:

- [1] 高飞,肖刚,陈久军. 面向大批量定制的产品族设计方法的现状与趋势[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(9): 1665 - 1672.
- [2] 钟诗胜,李江,刘金,等. 面向模块化设计的产品模块系统构建建模[J]. 中国制造业信息化, 2004, 33(5): 91 - 94.
- [3] 李建平. 基于绿色模块化设计方法的产品概念设计分析[D]. 重庆:重庆大学, 2008.
- [4] JIAO J, SIMPSON T W, SIDDIQUE Z. Product family design and platform - based product development: a state - of - the - art review[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2007, 18(1):

- 5 - 29.
- [5] 王海军, 孙宝元, 魏小鹏. 基于模糊聚类的产品模块化形成过程分析[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(增刊1): 123 - 126.
- [6] 侯亮, 唐任仲, 徐燕申. 产品模块化设计理论、技术与应用研究进展[J]. 机械工程学报, 2004, 40(1): 56 - 61.
- [7] 江诗松, 龚丽敏. 产品平台的概念、模式和管理过程[J]. 管理学家(学术版), 2010(10): 59 - 66.
- [8] 张曙. 工业 4.0 和智能制造[J]. 机械设计与制造工程, 2014, 43(8): 1 - 5.
- [9] 缪学勤. 智能工厂与装备制造业转型升级[J]. 自动化仪表, 2014, 35(3): 1 - 6.
- [10] 张雷, 刘志峰, 杨明, 等. 基于解释结构模型的产品零部件拆卸序列规划[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011, 23(4): 667 - 675.
- [11] 王欣欣, 李金保. 关于由邻接矩阵求可达性矩阵的方法[J]. 吉林化工学院学报, 2005, 22(4): 89 - 91.
- [12] 朱琳, 吕本富. 解释结构模型的简便方法[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(12): 1815 - 1817.
- [13] HSIAO S W, KO Y C. A study on bicycle appearance preference by using FCE and FAHP[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2013, 43(4): 264 - 273.
- [14] HSIAO S W, KO Y C, LO C H, et al. An ISM, DEI, and ANP based approach for product family development[J]. Advanced Engineering Informatics, 2013, 27(1): 131 - 148.

Research on the personalized product design based on mass production

JIANG Youya, LIU Su

(College of Mechanical Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Jiangsu Nanjing, 210016, China)

Abstract: For satisfying both the psychological demand of personalization and the low price demand of customers, there should be a method of personalize design based on mass production. Based on the theory of modular design, it classifies the previous product into certain modules according to the disassemble effort index, establishes the evaluation of modules, shows the detail about exporting the product chain of personalized product and building up a system of personalized production based on mass production.

Key words: personalized product design; modular design; disassemble effort index; interpretive structural model