

基于功能与行为信息的可变功能机械的功能获取与选择研究

张兴法^{1,2}, 邓益民^{1,2*}, 卓凯峰^{1,2}

(1. 宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211; 2. 浙江省零件轧制成形技术研究重点实验室, 浙江 宁波 315211)

摘要: 可变功能机械的优点之一是可以共享产品构件获得多个功能, 其中如何选择合适的可变功能, 使之既符合可变功能机械产品的结构特点, 又易于产品的设计制造和使用维护等, 对产品的市场成败具有重要的影响. 本文在可变功能机械特性研究的基础上, 基于功能的“输入输出转换”表达方法, 利用能量流、物料流和信息流及其之间的相互关系实现功能获取; 针对所获得的可变功能, 提出可变功能的选择原则, 以协助设计人员筛选出符合设计要求的可变功能. 基于所提出的方法开发了计算机辅助设计软件原型, 并通过迷你玉器电磨笔的可变功能设计过程验证所提出方法的有效性.

关键词: 可变功能机械; 输入输出转换; 功能获取; 功能选择

中图分类号: TH122

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2019) 03-0045-05

随着人们环保和节能意识的增强, 可变功能机械以结构紧凑、使用方便和功能众多等优势越来越受到人们的青睐^[1]. 相对于功能单一的机械产品而言, 可变功能机械不仅功能众多、节约资源, 还具有便于优化升级等优点. 目前, 有关可变功能机械的研究大都集中于对其产品特性和概念设计过程的认知, 以及相关的设计策略和方法, 例如杨鹏等^[2]基于 FBS 模型开展了小型机械产品的可变功能再设计研究, 提出了行为链概念, 并在此基础上提出了一种支持小型机械产品可变功能再设计的系统框架. 王根华等^[3]通过对机电产品基于共享构件识别和接口求解的可变功能再设计的研究, 提出了接口求解的 2 个准则及 2 类求解方法. 而另一方面, 设计开发可变功能机械还有一个十分重要的课题值得研究, 即如何获取和选择可变功能. 众所周知, 产品的价值在于为用户提供一定的功能^[4], 设计人员可以尝试根据可变功能机械的特性^[5], 依据一定的策略和方法, 主动寻找功能来满足客户的需求^[6]. 此方法可以发掘客户未意识到的需求功能, 引导客户和市场, 从而设计出在市场上有竞争

力的产品. 如何发掘出符合可变功能机械产品的结构特点, 且方便产品的设计开发和制造加工的可变功能, 目前还缺少相关的研究. 为此, 本文开展可变功能机械的功能获取和选择方法的研究, 并相应开发一套计算机辅助设计软件原型, 以实现所提出的方法, 为此类机械产品功能获取和选择提供相关策略.

1 基于功能和行为信息建模获得可变功能

获取可变功能是针对现有产品开展可变功能再设计或对现有可变功能产品进行功能升级的辅助工作, 涂强等^[7]已从基于原理实例检索的思路对可变功能产品功能升级再设计进行了研究. 以此为基础, 可以通过对现有产品进行功能和行为信息建模, 然后在所创建的产品模型基础上, 借助一定的信息处理方法(如类比、推理、变更等)获得新的产品功能. 为此, 需要选择合适的功能与行为表达方法. 考虑到“输入-输出转换”表达法较适用于有较明显的能量流、物料流和信息流的设计问题^[8], 而可变功能机械通常具备这一特点, 因此本文采

收稿日期: 2018-11-11.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金 (51375246).

第一作者: 张兴法 (1992-), 男, 山东菏泽人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 机械设计理论与方法. E-mail: 839097690@qq.com

*通信作者: 邓益民 (1966-), 男, 安徽舒城人, 博士/教授, 主要研究方向: 设计理论与方法、注塑成型与优化. E-mail: dengyimin@nbu.edu.cn

用输入-输出转换法开展可变功能机械的功能-行为信息建模,并通过改变物料流和能量流获得产品新功能.

1.1 改变物料流获得可变功能

(1)延长物料流获得新功能. 在日常生活中,末端物料是初始物料经多次转变而来的,每次物料转变都可以视为是某一功能实现的结果.若使用单一功能产品完成上述物料转变过程,则每次物料转变都需要一种专门的产品,这不仅物料转变效率不高,还在一定程度上造成资源浪费.若把两次或多次物料转变过程(即多个功能)设计到一个产品上,获得多功能产品,就可以大大提高产品的利用率.例如,针对小麦的物料转变过程(图1),通过延长小麦的物料流到干净麦粒,可以获得小麦的脱粒功能,再通过可变功能设计过程,设计出可实现收割、脱粒功能的小麦联合收割机^[9].

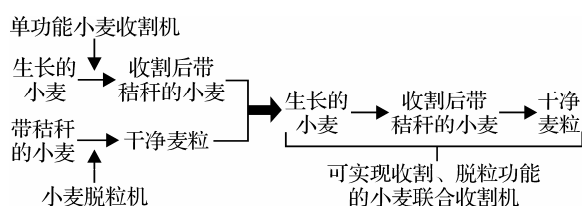


图1 延长小麦物料流获得新功能

需要说明的是,延长物料流获得的新可变功能虽然也可以通过下面增添能量流的方法进行表达,但在新可变功能未知的情况下,改变能量流的方法较难主动获得上述可变功能;而物料流更为直观,物料转变路径相对固定,所以通过延长物料流相对更容易获得此类可变功能.

(2)能量流和信息流不变的情况下,通过变更物料流获得不同功能.在进行功能的输入输出转换表达时,若能量流和信息流明确而物料流未知,则表达的是多个相似的功能,如图2所示,其中 e 表示能量, s 表示信息, m 表示物料.

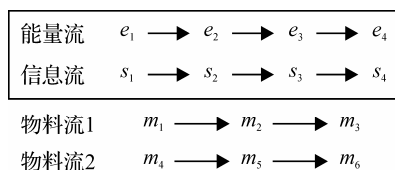


图2 能量流和信息流相同而物料流不同的功能表达

图2中能量流、信息流与物料流1共同表达一种功能,而能量流、信息流与物料流2共同表达另

一种功能.在能量流和信息流确定的情况下,通过不同的物料流可以表达不同的功能,且这些功能具有较大的相似性,一般通过改变执行机构和其他辅助构件就可以为现有产品设计新的可变功能.例如,针对榨汁机,通过更换执行机构和部分辅助构件即可实现榨果汁、磨豆浆和绞肉等不同的功能.

1.2 改变能量流获得新功能

(1)延长能量流获得新功能.分析并获取产品对应的能量流,确定能量流末端的能量特征,将末端能量流加以延长,可以达到实现另一功能的目的.例如初始的电锅只可在锅体中进行食材的炖和煮等操作^[10],而上述操作产生的热量会散失在空气中,造成末端能量的浪费,通过在锅体上方添加蒸笼等装置,可以让末端热量进入蒸笼内,从而对蒸笼内的食物等进行加热,进而对末端能量实现充分利用.

(2)增添能量流获得新功能.不同形式的能量可以实现不同的功能,具有相同形式能量的不同机构也可以实现不同的功能,而相同初始能量通过不同能量流可以转化为不同机构具有的能量,从而使该机构实现不同的功能,因此可以通过增添不同的能量流获得不同功能.例如,只具有行驶功能的拖拉机^[11]的主要能量流如图3所示.

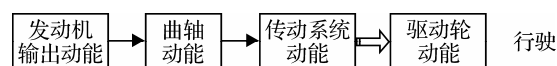


图3 拖拉机对应的初始能量流

通过增添其他能量流可使拖拉机具有耕地和发电的功能,从而使其实现多个功能,如图4所示.

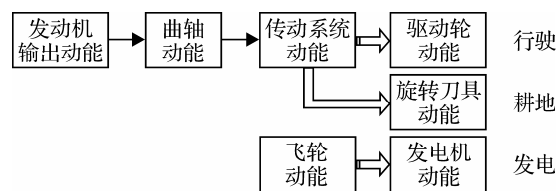


图4 拖拉机增添能量流获得新功能

2 可变功能选择原则

不同于单一功能的机械产品,可变功能机械拥有多个功能,这些功能需要通过变更产品的部分构件或构件连接方式来实现,因此,针对上述途径所获得的产品功能,需要结合可变功能机械的特点加以选用.为此,本文提出2个功能选择原则.

2.1 结构共享原则

可变功能机械产品实现不同功能的产品结构中共享构件越多,则使用时进行功能切换就越方便,且产品设计工作量也越小,制造加工成本也越低。定义待选功能和已选功能的共享零件数占零件总数的比例为构件共享度(D_s)。设 F_1 为已选定功能, F_2 和 F_3 为待选功能, P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 为实现这些功能的 5 个主要零件(实现某功能所必须的零件),功能零件关系见表 1(“1”表示实现某功能的主要零件)。由表 1 可看出,功能 F_2 、 F_3 都和功能 F_1 有共享构件,其与 F_1 的构件共享度分别为 $D_s<F_2,F_1>=0.5$, $D_s<F_3,F_1>=0.6$,两相比较, F_3 和 F_1 的构件共享度更大。按照结构共享原则,设计人员选择功能 F_3 的权重应该高于选择功能 F_2 。

表 1 功能与主要零件关系

功能	P1	P2	P3	P4	P5
F1	1	1	1	1	
F2	1		1		
F3	1	1		1	1

2.2 行为相似原则

上述结构共享原则存在一个问题:在概念设计阶段,设计人员往往并不能准确了解待选择功能的实现结构,因此无法获得相应的构件共享度数值。考虑到功能是由一定结构通过特定行为实现的,行为相似的 2 个功能,其实现结构往往存在较高的共享度,而且其设计复杂度也相对较低。杨鹏等^[12]通过对可变功能机械行为之间相似性的研究,总结出基于行为链的机械产品可变功能再设计方法,并通过实例验证了此方法的有效性,说明实现功能的行为相似性越大,越有利于进行可变功能设计。因此,本文提出行为相似原则作为功能选择的另一个重要判据,即与现有功能的行为相似度越高的功能,其被选择的权重应该越高。

实现功能的行为由各个子行为或子行为链连接组成,本文利用行为的“输入-输出流转换”表达法进行子行为(子行为链)相似性的量化研究,见表 2。设功能 F_x 和 F_y 进行行为的相似性比较, V_k 为进行相似性比较的第 k 个子行为(子行为链)的相似度, n 为进行相似性比较的子行为(子行为链)总数,则实现功能 F_x 和 F_y 的行为相似度 S_{xy} 定义为 $S_{xy} = \sum_{k=1}^n V_k / n$,其中 $V_k(k=1,2,\dots,n)$ 依据表 2 取值。

表 2 子行为(子行为链)相似性量化表

序号	子行为(行为链)输入-输出过程描述	相似度
1	能量、物料、信息转变完全相同	1
2	能量、物料转变相同,信息转变不同	0.8
3	能量、信息转变相同,物料转变不同	0.7
4	物料、信息转变相同,能量转变不同	0.6
5	能量转变相同,物料、信息转变不同	0.5
6	物料转变相同,能量、信息转变不同	0.4
7	信息转变相同,能量、物料转变不同	0.3
8	能量、物料、信号转变都不相同	0

3 可变功能机械功能选择计算机辅助软件

为实现上述功能选择方法,本文采用 Visual Basic.Net 语言开发了一个功能选择计算机辅助软件,系统数据库管理采用 Microsoft SQL Server 2014,可以使用 SQL 语言^[13]对数据库进行操作,把收集的功能(包括采用本文方法以及其他渠道所获得的功能)的各项信息录入此数据库中,设计人员可以通过此软件快速查找功能及其相关参数,计算构件共享度和行为相似度,然后参考这 2 项数据协助设计人员选择功能,为后续设计提供所需功能(其中功能选择权重大小为:2 项数据都存在且数值都较大的功能>2 项数据存在但数值较小的功能>其中 1 项数据缺失的功能>2 项数据都缺失的功能)。

图 5 为产品对应功能库中功能检索界面。以产品名称和产品功能概述作为检索条件可查询到产品对应的可变功能(通过上述可变功能获取方法获得)。通过输入功能 ID,显示此功能与原产品的构件共享和行为相似情况,为设计人员选择功能和进行可变功能设计提供参考。图 6 为功能库管理界面,设计人员可通过此界面管理功能库中的功能。

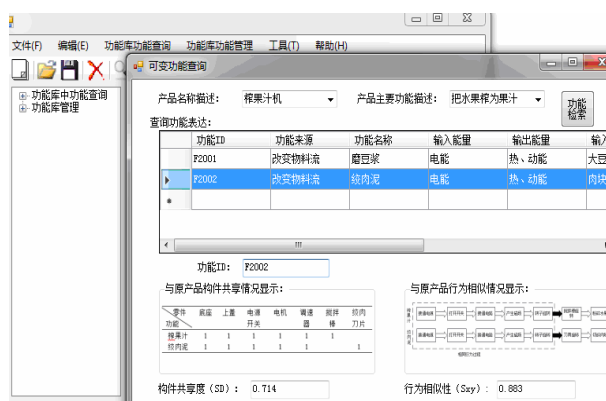


图 5 计算机辅助功能选择软件中的功能检索界面

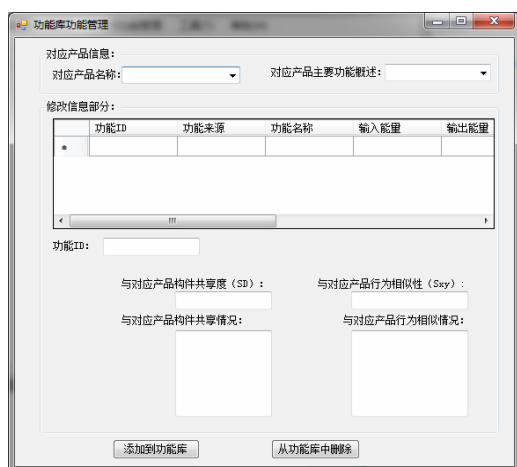


图6 功能库管理界面

4 实例分析

迷你电磨笔(图7)使用灵活,打磨精细且效率高,在小型玉器艺术品加工中应用广泛。现假定设计人员及客户希望对其进行再设计,使其可以实现多个功能,以满足用户不同的功能需求,使产品在多功能化趋向的市场上持续具有竞争力^[14]。



图7 迷你电磨笔

图8为计算机辅助功能选择软件界面,设计人员查询到迷你玉器电磨笔对应可变功能库中3个待选功能,每个功能都相应有一个功能ID,各功能均采用输入输出转换表达法进行表达。

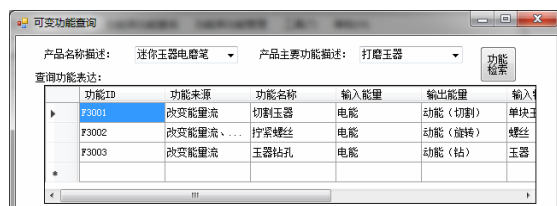


图8 迷你玉器电磨笔可变功能库功能

图9~11是3个功能分别与打磨玉器功能的构件共享情况和行为相似情况的查询结果,可以发现拧紧螺丝和打磨玉器功能的构件共享度和行为相似度值都较低,拧紧螺丝(电动螺丝刀)需要的齿轮减速器和离合器等主要装置都不可共用,因此可以断定拧紧螺丝和打磨玉器功能进行可变功能设计的可行性较低^[15]。所以去除拧紧螺丝功能,最

终选择切割玉器、玉器打孔2个功能进行可变功能设计,以设计出一款兼具玉器打磨、切割和钻孔功能的可变功能电磨笔。

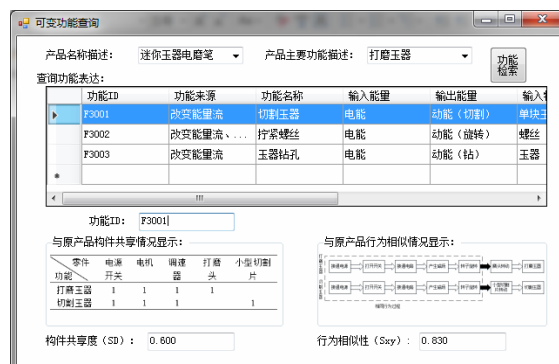


图9 切割玉器和打磨玉器功能参数查询



图10 拧紧螺丝和打磨玉器功能参数查询

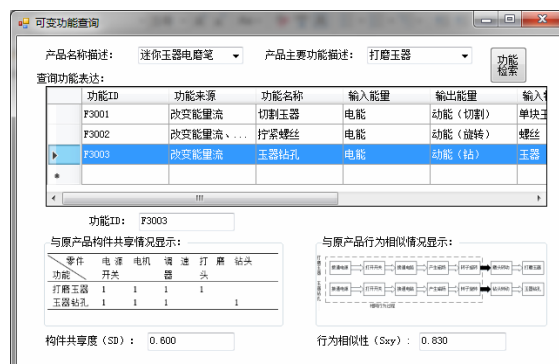


图11 玉器钻孔和打磨玉器功能参数查询

5 结论

产品的价值主要体现在为用户提供一定的功能;功能的输入输出转换表达法可以清楚地反映功能实现所需操作或行为之间的关系,而利用能量流、物料流和信息流及三者之间的关系可获得适合可变功能机械设计的功能。基于此,本文提出相应的功能获取方法,为设计人员获得可变功能提

供思路和方法; 根据可变功能机械的特点, 提出了可变功能的选择原则并进行量化, 便于设计人员剔除不合适功能, 快速选出符合可变功能机械要求的功能开展下一步的设计。最后, 对不同途径所获得的功能进行分类, 建立数据库, 构建功能查询和选择的软件平台, 帮助设计人员高效、快捷地进行可变功能设计工作。通过迷你电磨笔的可变功能查询和选择过程, 验证了此方法的有效性。

参考文献:

- [1] Yu Y W, Deng Y M, Lu W F, et al. Analysis of mechanical systems with adaptable functions for the evaluation of functional coupling and component importance[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 76(5/8):1449-1458.
- [2] 杨鹏, 邓益民, 殷习. 基于FBS模型的小型机械产品可变功能再设计[J]. 机械设计, 2015, 32(7):77-82.
- [3] 王根华, 邓益民, 邹长武. 机电产品基于共享构件识别和接口求解的可变功能再设计[J]. 机械工程学报, 2016, 52(23):77-83.
- [4] 庞业涛, 杨年. 产品价值与顾客需求层次分析[J]. 管理观察, 2007(7):82-83.
- [5] 王美焰. 机电产品行为特性及可持续概念设计方法研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2011.
- [6] 陈茂. 创造有价值的需求[J]. 南方企业家, 2012(9):32.
- [7] 涂强, 邓益民, 王君宇. 基于原理实例检索的可变功能产品功能升级再设计[J]. 宁波大学学报(理工版), 2017, 30(4):17-22.
- [8] 邓益民, 郑堤. 机电产品功能与行为表达方法综述[J]. 工程设计学报, 2008, 15(3):164-169.
- [9] 熊亮, 黄琦. 浅谈小麦联合收割机的维护保养与妥善保管[J]. 南方农机, 2014(4):37-38.
- [10] 黄岳生. 电炒锅的结构原理与故障检修[J]. 家庭电子, 1996(7):29.
- [11] 胡伟. 拖拉机发展的动向浅析[J]. 农机市场, 1998(8):8.
- [12] 杨鹏, 邓益民, 殷习, 等. 基于行为链的机械产品可变功能再设计方法及应用[J]. 机械设计与研究, 2014, 30(6):1-4.
- [13] 闫旭. 浅谈 SQL Server 数据库的特点和基本功能[J]. 价值工程, 2012, 31(22):229-231.
- [14] 清欣. 多功能工程机械将畅销[N]. 中国机电日报, 2001-02-14(3).
- [15] 黄绍华, 贺凤宝, 张伟. 电动螺丝刀的设计研究[J]. 中国新技术新产品, 2012(22):154.

Function acquisition and selection for adaptable-function product based on functional and behavioral information

ZHANG Xing-fa^{1,2}, DENG Yi-min^{1,2*}, ZHUO Kai-feng^{1,2}

(1. Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Part Rolling Technology, Ningbo 315211, China)

Abstract: One of the advantages of the adaptable-function mechanical product is that it can achieve multiple functions by parts' sharing. To ensure the market success of this kind of product, it is of great importance to acquire the adaptable functions that are not only suited to the structural characteristics of the product, but also easy for designing and manufacturing, as well as convenient for use and service. By studying the characteristics of the adaptable-function mechanical product, this paper proposes to acquire the adaptable functions by exploiting the "input-output flow" type of representation method for modeling the product function and behavior information, where the energy flows and material flows are properly processed. Subsequently, the paper proposes some of the function selection principles to assist the designers in selecting suitable functions among the acquired ones. Finally, a computer-aided design software prototype was also developed to implement the proposed methods. The effectiveness of the proposed methods is verified by the adaptable-function design process of a mini jade electric grinder.

Key words: adaptable-function mechanical product; input-output flow representation; function acquisition; function selection

(责任编辑 韩 超)