

基于结构模型的拆卸序列规划研究

郁元正, 娄岳海*

(浙江机电职业技术学院 机械工程分院, 浙江 杭州 310053)

摘要:为了解决装配结构复杂的产品拆卸序列规划中因数据组合爆炸而导致运算量剧增的问题,首先分析了典型装配体的拆卸特点,以零件自由度交集的运算结果作为拆卸方向的判断依据,提出了约束消除的概念,进而通过启发式算法实现了拆卸序列的自动生成;为了提高拆卸序列规划的运算效率和计算结果的实用性,引入了以装配关系为基础的层次化结构模型,通过逐层分解的方法降低了装配结构深度,避免了从整个复杂装配体上求单一零件的拆卸序列,达到了减少运算的目的;最后以简化的汽车为例,阐述了基于结构模型的拆卸序列规划过程。研究表明,以层次化结构模型为基础、以约束消除为原则的拆卸序列规划能有效降低运算量,从而控制复杂产品的数据组合爆炸问题。

关键词:拆卸序列;约束消除;结构模型;面向拆卸的结构设计

中图分类号: TH122; TH17

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)11-1264-04

Research on construction model-based disassembly sequencing

YU Yuan-zheng, LOU Yue-hai

(School of Mechanical Engineering, Zhejiang Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China)

Abstract: In order to solve the problem of data explosion during disassembly sequencing for products that have complex structure, disassembly features of typical mechanical components were analyzed, valid intersections of freedom of a part were regarded as its possible disassembly directions. Applying the principle of constraint eliminating, disassembly sequencing was realized by heuristic algorithms. To further improve computation efficiency and practicability of the disassembly sequence, a hierarchical construction model was introduced to downgrade assembly depth of a product. By means of structural decomposing, computation reduction was realized since that was unnecessary to determine the disassembly sequence for any single part of the entire product. The disassembly sequencing procedure was illustrated by a vehicle model. The result indicates that the amount of computation during disassembly sequencing is significantly reduced by the hierarchical construction model-based constraint eliminating, and therefore data explosion for complex products is controlled.

Key words: disassembly sequencing; constraint eliminating; construction model; design for disassembly(DFD)

0 引言

传统的机械产品结构设计主要强调功能性和生产工艺性,几乎不考虑可拆卸性,因此产品的养护、维修不够方便,到了寿命终期,往往因为拆卸过程的能耗、设备、时间成本太高而放弃了循环再利用^[1]。这种设计方法与今天绿色制造的主题格格不入。面向拆卸的结构设计(DFD)是产品绿色设计的主要内容之一,产品的易拆卸、可回收性贯穿了产品设计的全过程。该

方案通过减少原材料种类、简化联接方式、减少零件总数、降低装配结构深度等方法,实现了废旧产品大多数零部件的非破坏性拆卸,提高了循环再利用率,形成了产品全生命周期的闭环物流系统。DFD技术的运用对环境友好型产品的开发和制造业的可持续发展具有重要的意义^[2-4]。

为了使产品具有良好的可拆卸性,在产品阶段就应当解决拆卸序列的规划问题。Adenso-Diaz等^[5]提出了一种基于协同搜索的并行算法,减少了运

收稿日期: 2012-06-11

作者简介: 郁元正(1979-),男,浙江杭州人,讲师,主要从事数控机床机械结构方面的研究. E-mail: cvn79@hotmail.com

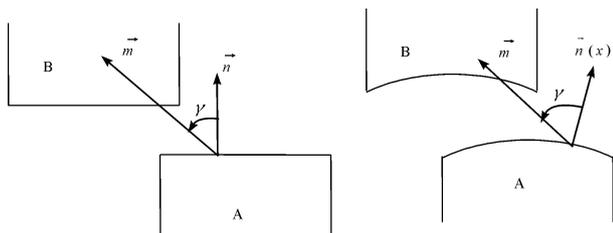
通信联系人: 娄岳海,男,副教授. E-mail: louyuehai@163.com

算过程中的 CPU 占用率,有效提高了拆卸序列规划效率,但对于复杂的产品,运算量呈几何级数提高,数据组合爆炸问题依然存在。Carlos Andres 等^[6]提出了将拆卸所需设备相同的零部件组成结构单元,进而组成整个产品,并指出单元化结构是优化拆卸序列的重要手段。这种方法有利于提高批量拆卸的效率,但各单元之间的装配关系仍需进一步规划。丁勇、孙有朝^[7]提出了一种基于规则的递归方法消除不可能的拆卸序列,改善拆卸序列规划的实用性和有效性。采用这种方法易获得最优解,但对于复杂产品而言,因涉及参数多,控制难度较大。

本研究以零件自由度交集的计算结果作为判断拆卸方向的依据,通过启发式算法逐一消除装配约束,使用较少参数就能获得拆卸顺序。为了降低产品结构深度、提高运算效率,基于装配结构的映射,笔者建立了层次化结构模型,并通过自上而下的运算规则,化解复杂度,可较好地解决复杂产品拆卸序列规划中的组合爆炸问题。

1 拆卸方向的运算规则

拆卸序列规划是以拆卸方向为基础的。零部件的拆卸方向取决于它与相邻零部件接触的表面,该表面定义为配合面,零件 B 和零件 A 的接触面如图 1 所示。



(a)配合面是平面 (b)配合面是曲面

图 1 拆卸方向与接触表面的关系

根据非破坏性拆卸方向只能平行或背离配合面的原则,无论配合面是平面还是曲面,零件 B 相对于零件 A 的可能拆卸方向 \vec{m} 和接触面法线 \vec{n} 夹角范围为 $-90^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$ 。若拆卸方向存在,则:

$$\vec{m} \cdot \vec{n}(x) = mn(x) \cos\gamma \geq 0 \quad (1)$$

当一个零件与其他零件有多个接触面时,每个表面限定的可能拆卸方向可以用集合来表示,即:

$$M_i = \{\vec{m} \mid \vec{m} \cdot \vec{n}(x) \geq 0, x \in D\} \quad (2)$$

式中: D —接触区域。

零件实际拆卸方向 M 为 M_i 的交集^[8],即:

$$M = M_1 \cap M_2 \cap M_3 \dots \quad (3)$$

本研究将以上规则应用于典型传动轴端部拆卸方

向运算,如图 2 所示。

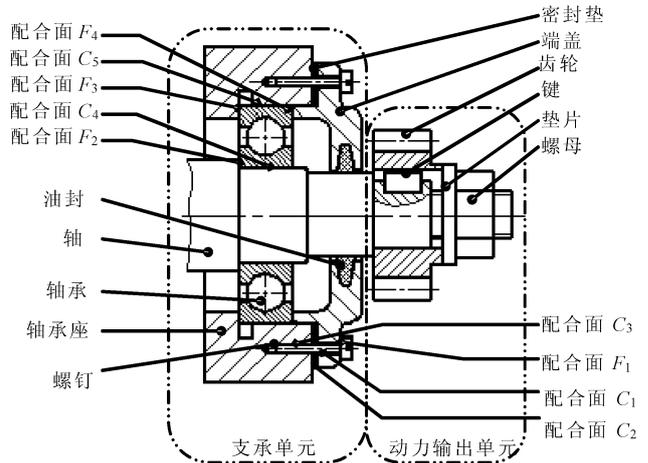


图 2 传动轴端部典型装配结构

以螺钉为例,当仅考虑螺钉和端盖端面的接触,即配合面 F_1 时,螺钉的拆卸方向为 M_1 ;当仅考虑螺钉和端盖小孔的接触面,即配合面 C_1 时,螺钉的拆卸方向为 M_2 ;当仅考虑螺钉和密封垫小孔的接触面,即配合面 C_2 时,螺钉的拆卸方向为 M_3 ;仅考虑螺钉和轴承座螺孔的接触面,即配合面 C_3 时,螺钉的拆卸方向为 M_4 。若将约束螺钉的各个配合面所允许的拆卸方向分别映射到高斯球上^[9],求得各相关配合面所允许拆卸方向的交集,即为螺钉的拆卸方向。拆卸方向的计算如图 3 所示。

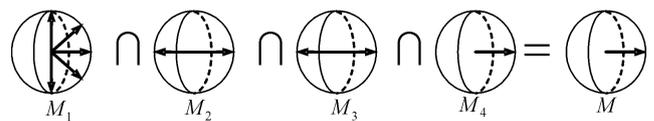


图 3 螺钉拆卸方向的分析

若交集为空,则表明该零件不可拆卸,例如求轴承的拆卸方向,即求 5 个配合面 F_2, F_3, F_4, C_4, C_5 ,分别所允许的拆卸方向 M_1, M_2, M_3, M_4, M_5 的交集,运算结果如图 4 所示,表明轴承在当前状态下不可拆卸。

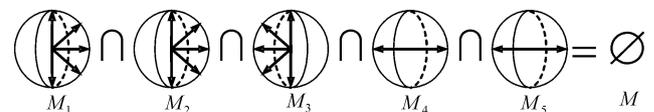


图 4 轴承拆卸方向的分析

2 基于约束消除的拆卸序列运算

产品的拆卸并非装配的简单逆过程,因此有必要

对产品的拆卸序列进行规划。这一过程在数学本质上是一个 NP 完全问题。这类复杂的问题可以应用启发式算法来解决。根据上述拆卸方向算法,若零件的拆卸方向为空,则意味着该零件的拆卸顺序至少排在与其接触的其中一个零件之后。例如图 2 中的轴承,由装配图可知,只有在已经拆除端盖的情况下,即消除配合面 C_5 所产生的约束后才能获得拆卸方向,即端盖的拆卸序列要先于轴承。拆卸序列是通过快速的简单运算自动生成的,因此,本研究必须制定一套适合计算机逻辑判断的规则。这一规则如图 5 所示。

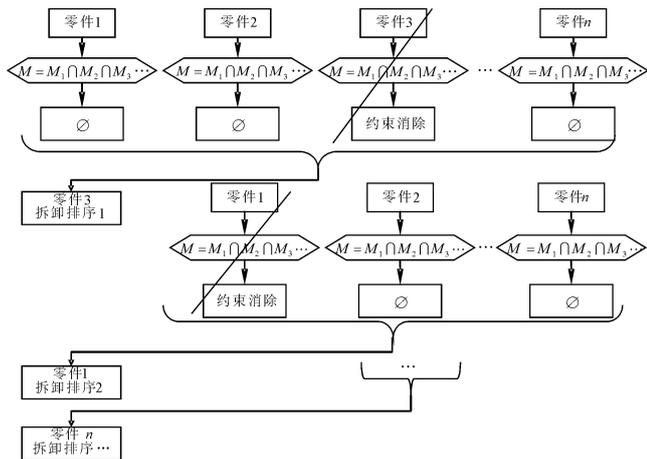


图 5 基于约束消除的拆卸序列运算规则

假设某一装配体含有 n 个零件。本研究首先根据各零件的配合约束,通过公式(4)计算拆卸方向。运算结果分为两类:一类为空,即当前不可拆卸;另一类为拆卸方向。获得拆卸方向的零件将获得一个拆卸顺序代码,并在下一轮运算中将所有与该零件有关的配合约束取消。重复这一过程,直到 n 个零件都获得拆卸排序号。例如,图 5 中的 n 个零件在第 1 轮运算中,零件 3 获得拆卸方向,则将零件 3 列为“拆卸排序 1”,

在第 2 轮运算中,消除了与零件 3 有关的所有配合约束后,零件又获得了拆卸方向,列为“拆卸排序 2”。本研究按照该方法运算,直到所有零件均获得拆卸方向以及拆卸代码。

在第 1 轮运算中,本研究时零件随机选取,遇到一个可拆卸零件后,不再继续对其他零件进行运算,而是直接进入第 2 轮运算。这样生成的拆卸序列在实际操作中,可实现对装配体各个部分依次充分拆卸,减少装配体的装夹、移动次数。

3 DFD 的结构建模

建立装配体的结构模型是顺利进行拆卸序列运算的前提。这种结构模型应适用于产品的整个生命周期,包括最终的拆卸阶段。目前,基于 CAD 建立的部件结构模型都是面向制造的,因此研究者必须对这些 CAD 模型进行再加工,建立面向拆卸设计的结构模型。图 2 所示传动轴端部的装配结构模型如图 6 所示。这种结构模型体现了组成装配体的各个零件及各零件间的配合约束。其中,零件由节点表示^[10],节点包含了零件的自身信息,如零部件的名称、材料、尺寸等。为了简化结构,规格、功能完全相同的零件定义为一个零件,例如图 2 中的螺钉。相邻零件之间的连接关系映射为节点之间的连线,包含了零件之间的配合约束类型(如平面配合、柱面配合等)、拆卸所需工具、拆卸的必要等级等信息。节点在图结构中的位置并不反映对应零件在装配体中的实际位置,但应有利于清晰表达装配结构。图结构可以通过信息库的形式存档,为拆卸方向和拆卸序列的自动运算提供参数。

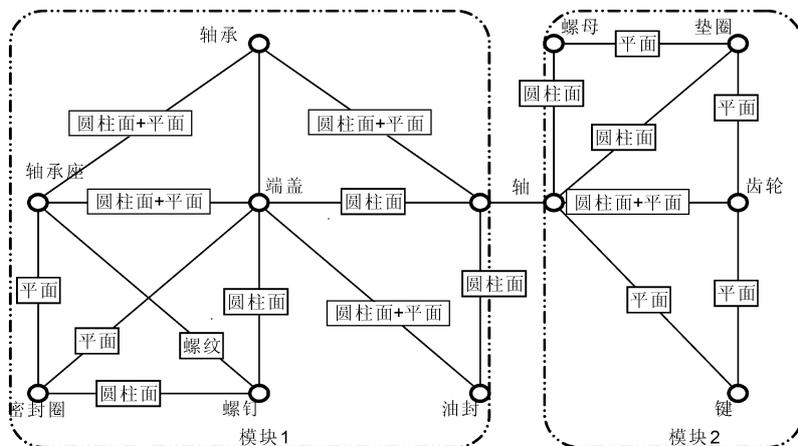


图 6 轴端装配结构模型

由于产品结构的复杂性,研究者要判断一个零件能否顺利地拆卸,还要作干涉检查,也就是要判断该零件与装配体完全分离之前,是否与其他没有直接接触的零件发生干涉。例如在图 5 中,虽然拆去螺钉后可向右拆下端盖,但是受到齿轮的阻挡,仍不能与轴彻底分离。另外,在实际拆卸过程中,某些位于深处的零件虽然可拆,但拆卸空间狭小,取出路径复杂,因此研究者在建模时可采用层次化结构,降低结构深度^[11-12]。例如将上述轴端装配体根据结构分割为支撑单元和动力输出单元,单元之间的拆卸优先级要高于零件,即先运算各单元的拆卸序列,再对各单元内的各零件生成拆卸序列。这种并行拆卸方式更接近实际拆卸作业。

简化的汽车结构模型如图 7 所示。

图 7 中,第 1 层次中的节点表示组成汽车主要功能模块间的装配信息,例如发动机与传动系统的联结、发动机在车架上的安装等。第 2 层次为组成每一功能模块的各个组件单元的装配信息。图 7 中以发动机为例,表达了气缸体组件、缸盖组件、油泵、水泵等单元之间的装配关系,第 3 层次映射了某一个单元(图 7 中所示为缸盖组件)所含各个零件的装配信息。

本研究进行拆卸分析时遵循自上而下的运算规则:在第 1 层次上生成各大部件的拆卸序列,继而以各部件为单位,在第 2 层次上分别生成各单元在其所属部件中的拆卸序列,逐层分解,最终获得各零件的拆卸序列。

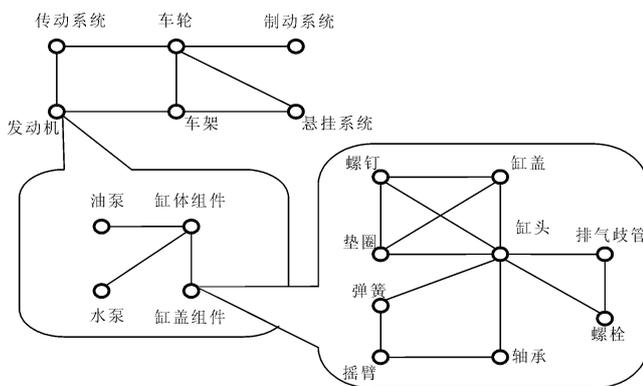


图 7 层次化的汽车装配结构模型

4 结束语

拆卸序列规划是 DFD 技术的关键。在以零件自由度交集作为判断拆卸方向依据的基础上,本研究通

过启发式算法逐一消除装配约束,获得拆卸序列。其中所需的参数较少,过程也易于控制。层次化结构模型在各层次上拆卸序列运算规则完全相同,避免了从整个复杂装配体上求单一零件的拆卸序列,从而可达到有效控制复杂装配体组合爆炸问题的目的。该方法有助于解决复杂产品的拆卸序列规划问题。

在实际应用中,大多数产品并非需要完全拆卸,因此这种方法还可以进一步进行扩展;研究者可根据实际需要,对产品各零部件回收处理进行评价,定义不必要的拆卸环节,使拆卸序列规划更有效、更实用。

参考文献(References):

- [1] 徐伟,陈吉红. 面向产品回收的可拆卸性设计技术的研究[J]. 机床与液压,2009,37(2):24-28.
- [2] 陈志伟,苏纯. 面向再制造的产品 DFD 设计与制造管理研究[J]. 中国制造业信息化,2009,38(21):20-23.
- [3] 张秀芬,张树有,伊国栋,等. 面向复杂机械产品的目标选择性拆卸序列规划方法[J]. 机械工程学报,2010,46(11):172-178.
- [4] 张玲,王正肖,潘晓弘,等. 绿色设计中产品拆卸序列生成与评价[J]. 农业机械学报,2010,41(12):199-204.
- [5] DIAZ A, CARBAJAL B, LOZANO S. Disassembly Scheduling of Complex Products using Parallel Heuristic Approaches [C]//AICCSA2010. Tunisia: [s. n.], 2010:1-4.
- [6] ANDRES C, LOZANO S, ADENSO - DIAZ B. Disassembly sequence planning in a disassembly cell context[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2007, 23(6): 690-695.
- [7] 丁勇,孙有朝. 基于规则的递归选择性拆卸序列规划方法[J]. 飞机设计,2011,31(6):61-66.
- [8] 徐鸿翔,王栓虎. 基于最大回收利润的产品拆卸规划的研究[J]. 兵工自动化,2002,21(2):16-18.
- [9] 毛汉领. 面向经济回收的产品设计系统构成[J]. 再生资源研究,2001(6):7-10.
- [10] 胡迪青,胡军军,胡于进,等. 支持面向装配和面向拆卸设计的 CAD 系统[J]. 中国机械工程,2000,11(9):1001-1006.
- [11] 薛琴微,兰秀菊,陈呈频. 基于蚁群算法的混流装配线排序研究[J]. 轻工机械,2010,28(5):107-112.
- [12] 傅浩,蔡建国. 面向拆卸与回收的设计指南[J]. 机械科学与技术,2001,21(4):603-605.

[编辑:张翔]