

三维环境下产品拆卸过程分析*

潘晓勇 刘光复 刘志峰 王淑旺

(合肥工业大学机械与汽车学院 合肥 230009)

摘要: 产品的拆卸是实现环境保护,资源和能源节约的有效途径。拆卸序列和路径是拆卸过程研究的重要内容。根据拆卸序列研究的现状,提出了一种基于三维软件UG用VC++6.0二次开发来提取和补充产品装配图中的相关信息,产生产品拆卸序列的层次网络图方法,有效地解决了从产品装配图中提取信息不足,以及当零件数目过多或配合关系复杂而很难表达等问题。而且可以补充一些输入信息或修改现有的不正确的信息,动态实现了拆卸的过程,以及拆卸序列的自动生成、编辑和优化。并基于移动Agent/MAS(多Agent系统),对零件三维拆卸路径进行了初步的研究,对于机器人自动化拆卸有一定的指导意义。最后以底座组件为例进行了说明。拆卸分析的结果可以反馈到设计环境,指导产品的设计过程。

关键词: 拆卸序列 层次网络图 Agent/MAS 三维拆卸路径

中图分类号: TH16

0 前言

随着废弃产品的增多以及产品更新换代越来越快,导致环境恶化,资源和能源过度消耗,所以世界各国制定了各种法律法规来约束企业的生产和经营活动,来达到保护环境、节约资源和能源的目的。有的国家规定制造商必须对其生产的、被淘汰或废弃的产品进行回收处理,因此生产企业正面临着如何提高其产品的可回收性的巨大压力。

拆卸是回收的基础^[1]。拆卸可分为破坏性拆卸和非破坏性拆卸,非破坏性拆卸可使产品产生更高的回收价值,所以主要讨论非破坏性拆卸的有关问题。拆卸序列和路径是拆卸过程研究的重要内容。拆卸序列的生成和拆卸过程中的三维拆卸路径研究对于拆卸产业化特别是对机器人自动化拆卸有着直接的影响。

1 拆卸过程研究现状

国内外对拆卸路径特别是三维拆卸路径的研究很少,所以主要对拆卸序列作详细研究。拆卸序列就是产品拆卸时产生的不同拆卸顺序。对于一个产品,按照零件的排列组合,可能的拆卸序列有几个,十几个乃至成千上万个,所以对正确可行的拆卸序列的研究势在必行。

国内外学者对拆卸序列的生成方法进行了广泛的研究。较早的关于拆卸序列研究的论文是1991年发表的,Subramani等^[2]使用一种分支与边界的方法来使总的拆卸成本最小化,在每个拆卸过程,算法都选一个具有最低总拆卸成本的零件来拆卸,从而得到产品的拆卸序列。是在当拆卸成本是常量时产生最优拆卸序列。

对于拆卸序列的研究方法比较典型的有AND/OR图、干涉检验法以及部件一紧固件图法等。主要是根据零部件之间的几何拓扑信息从而得出产品的拆卸序列。

荷兰的A. J. D. Lambert等^[3]根据产品的几何信息,提出拆卸逻辑图,用AND/OR逻辑关系来描述。AND/OR图对于零件数目不多,装配关系不太复杂的产品有一定的优势。缺点是过于复杂,不直观。

Lozano-Perez等^[4,5]借助于装配图对零件进行两两空间干涉检验,从而得出拆卸序列。对于每个零件对,相对于同一个参考点,在拆卸过程中互不干涉的空间区域,称为干扰构形空间。所有的干扰构形空间都针对同一个参考点,将其叠加在一起,即可得到产品的干涉图。把产品装配图空间划分成很多区域,根据某一个零件在哪些空间可以移动,从而直接从图中得到拆卸序列。从这个例子可以得知,十几个零件就已经比较复杂了,而机电产品一般都有几十或几百个甚至上千个零件,因而无法清晰地表达。

美国德克萨斯科技大学的张洪朝教授以及台湾科技研究所 Tsai C. Kuo 教授基于部件一紧固件图

* 国家自然科学基金(59935120)和安徽省自然科学基金(00047509)资助项目,20020830收到初稿,20021010收到修改稿

(Component-fastener-graph)法来产生拆卸序列^[6]。根据产品的装配图(可从 CAD 或其他三维软件获得)中部件之间的约束关系,得到产品的部件-紧固件图,分析部件-紧固件图来推理得出其拆卸序列。主要是不断找切入顶点(即配合关系最多,且与上一级有配合关系的节点),把图分成子图,从而得出拆卸序列。优点是直观,容易实现,需要数据不多。缺点是要求首先把紧固件排除在外,装配图中有些信息不能提供,比如绝对装配的零件如弹簧等,以及用于定位的销、键等。对于零件移动一定的距离可以拆卸,不能进行判断。

这些方法都是利用装配图等产品的几何信息为基础,而装配图不能提供一些信息,而且在零件数目较多,关系复杂时,很难表达清楚。以上几种方法对零件在三维拆卸上都有缺陷,缺乏对干涉判断深入的研究。

根据拆卸序列研究现状,要使拆卸序列研究完善化和实用化,并可以利用拆卸相关研究的结果指导产品设计、拆卸和回收,就必须要与三维软件结合起来,通过二次开发生成产品拆卸路径,动态演示拆卸过程。并且可以输入一些需要的信息,有利于拆卸序列优化和产品的回收等后续研究。

三维软件 UG 功能强大,用 VC++6.0 二次开发环境友好,而且提供了 2000 多个函数和很多类库,所以笔者基于 UG 用 VC++6.0 二次开发来提取产品装配图中零部件几何,装配等信息,得到邻接矩阵,再转化为产品拆卸路径的层次网络图方法,来生成拆卸序列。开发系统在 UG 中增加了一个回收应用模块,它由网络图、信息查询、拆卸、回收和动态演示等子模块组成。可以实现产品拆卸序列的自动生成以及路径的编辑、优化,动态演示拆卸过程,可以清楚地看出拆卸的层次、顺序、零件之间的几何关系、零件拆卸的难易程度、拆卸过程中是否产生干涉等。对于有些信息不足及发现信息有误等问题,提供人机交互界面,可以补充一些输入信息或修改现有的不正确的信息,有利于后续研究。拆卸分析的结果可以反馈到设计环境,指导产品的设计过程。

2 基于 UG 的层次网络图方法

2.1 装配信息的提取和相关信息的补充

产品在实际装配中,很多时候是分模块装配的,这样可以把每个模块看成一个子装配体,从整体上划分产品,从而产生了层次关系。开发的系统中根据装配图中自带的信息,可以提取上层的子装

配体信息。

产品中两零件间的具体关系,主要是通过零件间配合约束体现。目前,尽管产品开发系统不同,但它们所提供的装配设计方法和过程是相近的。产品装配建模是通过在零件添加配合约束来实现的,配合约束信息包括被装配体的约束数目、约束类型,以及每个约束的配合面、作用点位置和作用方向等。由于拆卸在一定意义上是装配的逆过程,通过对装配信息分析,便能获得拆卸顺序、方向和拆卸力等的有关数据。利用 UG 提供的函数可以获得这些信息。

对于一些信息,像零件的绝对定位,如弹簧等,配合关系无法提取,可以根据装配图和二次开发中得到的该零件的序号,加入属性说明,给予特殊处理。还可以根据对拆卸序列优化和回收等后续研究,补充一些信息,例如可加入零件的类型,拆卸工具等。

2.2 邻接矩阵和层次网络图

产品配合约束信息用邻接矩阵来表示清楚直观,最方便于推理算法的运用。令 $M=[m_{ij}]$ 是拆卸网络图 G 的邻接矩阵,为了处理的方便,把 M 当作三角矩阵。矩阵 M 定义如下

$$M = \begin{bmatrix} 0 & m_{12} & m_{13} & \Lambda & m_{1n} \\ 0 & 0 & m_{23} & & m_{2n} \\ 0 & 0 & 0 & \Lambda & m_{3n} \\ \Lambda & & \Lambda & & \Lambda \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{式中 } m_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{当部件 } i \text{ 与部件 } j \text{ 相配合时} \\ 0 & \text{其他情况下} \end{cases}$$

在开发的系统中两个零件之间配合关系可以用 UG 自带的函数从 UG 中直接得到,从而生成邻接矩阵,再根据邻接矩阵和节点父节点和子节点的状态来产生拆卸层次网络图 G' 。在层次网络图中,节点由代表子装配体和代表零件的节点组成。边表示两个零件之间有配合关系或者是表示子装配体和它的子节点之间的父子关系。表示子装配体和它的子节点之间的父子关系的边从该子装配体指向其子节点所处层次的平面上一点,而不指向某个具体的子节点。节点是否有父节点和子节点,来区分零部件的层次。层次网络图简化了拆卸序列的自动生成。

2.3 拆卸序列生成算法

在提取到产品零部件之间的配合关系以及各个零部件的子节点和父节点信息之后,根据网络图的层次性,以及配合关系复杂的零件后拆卸的原则,

通过以下的算法(算法的流程图如图 1 所示)来产生产品的拆卸序列。

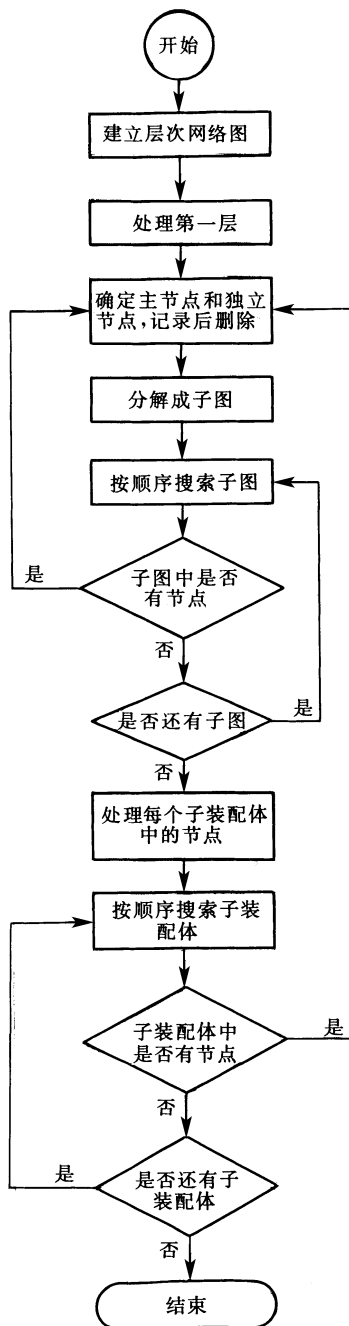


图 1 拆卸算法流程图

第一步 建立层次网络图，遍历层次网络图，记录所有节点所处的层次即深度和其所有的父节点，以及所有的有子节点的节点即子装配体包含的所有子节点，用来在产生拆卸序列时确定节点的深度、与该节点同属于一个子装配体的节点及其数目。首先对第一层(可以看作是一个装配体)处理。

第二步 根据层次网络图来统计该装配体中的每个节点的边数，层次之间的边不包括在内，找到边数最大的节点为主节点。

第三步 根据配合关系复杂的零件后拆卸原

则，找到与主节点边数为 1 的独立节点，然后把把这些节点从图中去除，可以看作是已拆卸了，用数组 A 记下这些主节点和独立节点的序号。

第四步 把主节点删除，并除去主节点和所有节点之间的边。从而把该装配体分解成为一系列子图，用 G_1, G_2, \dots, G_m 来表示子图，其中 m 表示子图的数目。

第五步 按顺序搜索每个子图，找到与分解前的主节点有边，而且在子图中其边数最多的节点，作为新的主顶点。重复第三步到第四步的操作，直到该子图中没有节点为止。

第六步 若没有搜索到子图，转到第七步，若搜索到了，转到第五步。

第七步 按顺序搜索每一层(第一层除外)中属于某个上级子装配体的所有节点构成的子图，把这些节点中和子图中其他节点边数最多的节点作为主节点，按照第三步到第五步的操作处理，直到该子图中没有节点为止。

第八步 若没有搜索到子图，转到第九步，若有，转到第七步。

第九步 根据数组 A 和第一步记录的数据按照拆卸层次和独立节点优先于同层次主节点规则生成拆卸序列。

该算法中二维数组 A ，每循环一次，转到下一行开始记录，以便于生成拆卸序列中数据的处理。对于同一层次的独立节点，拆卸顺序可以交换。同一层次子图拆卸顺序也可以交换。开发系统中拆卸子模块中有拆卸序列自动生成选项来产生拆卸序列。

3 基于移动 Agent 与多 Agent 系统的三维拆卸路径研究

拆卸路径是指零件在移出装配体过程中的具体移动路径。根据三维拆卸的特点，所要拆卸的零件可以在 x, y, z 三个方向，即在三维空间中自由移动，但不包括零件本身的转动。

在拆卸过程中每次拆卸零件的移动情况随着时间而变化，零件在更换，零件本身的位置信息，零件之间的相互位置关系以及配合关系都在变化，这就要求功能体具有较强的自适应能力，可以封装对象，而且可以和其余智能体进行交互，针对共同目标即把当前零件移出装配体之外进行协调规划、决策。对于一些需要的信息不足问题，可以从开发系统或其余智能体输入得到。而基于三维软件 UG，利用 VC++6.0 对 UG 二次开发的基础上，用移动

分支图拆卸顺序可以交换。在每个分支图中，定位块对应节点有 2 条边，该节点为主节点，对应于插销和螺栓的节点均为独立节点。根据拆卸层次和独立节点优先于同层次主节点拆卸的原则，得到多条拆卸序列，其中一条为左定位销、右定位销、左螺栓、左插销、左定位块、右插销、右螺栓、右定位块、前插销、前螺栓、前定位块、后插销、后螺栓、后定位块和底座。

在开发的系统中可以查询节点和边的信息，补充输入一些特殊信息和后续研究所需要的信息，可以从多条拆卸序列中选择任意一条，并对它进行编辑。还提供拆卸序列的优化，拆卸过程即具体的三维拆卸路径的动态显示等功能。

5 结论

提出了基于三维软件 UG 用 VC++6.0 二次开发来提取和补充产品装配图中的相关信息，产生产品拆卸序列的层次网络图方法。并基于 Agent/MAS 对三维拆卸路径进行了研究。对于拆卸序列生成算法以及当拆卸路径包括零件自身的转动等问题还需要进一步研究。

参 考 文 献

- 1 刘光复，刘志峰，李钢. 绿色设计与绿色制造. 北京：机械工业出版社，1999
- 2 Subramani A K, Dewhurst P. Automatic generation of product disassembly sequences. *Annals of the CIRP*, 1991, 40: 115~118
- 3 Lambert A J D. Optimal disassembly of complex product. *INT. J. PROD. RES*, 1997, 35(9): 2 509~2 523
- 4 Ko H, Lee K. Automatic assembling procedure generation from mating conditions. *Computer Aided Design*, 1987, 19(1): 3~10
- 5 Lozano-Perz T, Wilson R H. Assembly sequencing for arbitrary motion. In: *IEEE Proceeding of Robotics and Automation*, 1993
- 6 Kuo Tsai C, Zhang H C. Disassembly analysis for electromechanical products: a graph-based heuristic approach. *International Journal of Production Research*, 2000, 38:

993 ~ 007

- 7 陆汝钊. 世纪之交的知识工程与知识科学. 北京：清华大学出版社，2001
- 8 Gian, Pietro, Picco. *Mobile agents: an introduction. Microprocessors and Microsystems*, 2001

ANALYSIS OF PRODUCTS' DISASSEMBLY PROCESS UNDER THREE-DIMENSION ENVIRONMENT

Pan Xiaoyong Liu Guangfu Liu Zhifeng
Wang Shuwang
(Hefei University of Technology)

Abstract : Disassembly of products is effective way of implementing environment protection and saving resources and energy. The disassembly sequence and path are the main concept of disassembly research. According to the facts of researches on disassembly sequence, a method of the hierarchy network graph is proposed to generate the disassembly sequence. The method uses VC++6.0 to develop the three-dimension software UG to get and supplement the related information of assembly graph, effectively solves the deficiency of information from assembly graph, and solves the expression problems when the number of parts is too much and the relations among the parts are too complicated. Furthermore the related information can be input and amended, the disassembly process can be demonstrated dynamically, and the disassembly sequence can be automatically generated and edited and optimized. Finally, based on the mobile agent/MAS (Multi-Agent system), the three-dimension disassembly path of parts is studied, and some instructions are given to the automatic disassembly of robot. And the accessory of is exemplified. The result can be fed back to the design environment and instruct the design process of products.

Key words : Disassembly sequence

Hierarchical network graph Agent/MAS

Three-dimension disassembly path

作者简介：潘晓勇，男，1975 年出生，博士研究生，主要研究方向为绿色设计与制造，产品拆卸等，发表论文 8 篇。