

基于连接关系稳定性的子装配体识别

Subassembly Identification Based on Connection Stability

华中科技大学机械学院 王礼健 钱卫荣
空军装备研究院通信所 王炜华

[摘要] 产品装配序列规划问题是一个典型的组合优化问题,在求解过程中容易导致组合爆炸。通过将复杂的产品划分成一个个合理的子装配体,可以有效地解决装配序列规划搜索空间过大的问题。本文以产品连接关系图为基础,通过研究产品各个部件之间的连接关系,对连接关系的稳定性进行分类,基于连接关系稳定性建立权重连接关系图,进行子装配体的划分;同时,根据子装配体功能和结构的相似性,构造相似子装配体。本文所求得的子装配体具有较好的稳定性和均衡性。

关键词: 装配序列规划 子装配体 装配稳定性 装配均衡性

[ABSTRACT] Assembly sequence planning problem is a typical combinatorial optimization problem, it is prone to lead to combinatorial explosion problem. To reduce the searching space of the algorithm of the assembly sequence planning, based on the connection graph of the product, through the research about the connection among the components, the classification of the connection stability is made, the weighted graph that is based on the connection stability is established. According to the connection stability among the components, the assembly is partitioned several subassemblies. While according to the similarities of the function and the structure among some subassemblies, the similar subassemblies are constructed.

Keywords: Assembly sequence planning Subassembly Assembly stability Assembly equilibrium

装配是产品全生命周期的重要组成部分,是实现产品功能的最后一个操作。通常,产品的功能无法通过单独的零件来实现,而是通过将一些零件按照一定的关系组合在一起,成为一个统一的整体来实现产品的功能。据不完全统计,装配费用占产品制造总费用的40%,装配所使用的时间占产品制造总时间的20%~70%^[1],装配操作已经成为制约企业提高生产效率的瓶颈之一。装配序列是描述产品装配过程的重要信息之一,是装配工艺规划的核心。装配序列规划是基于装配体中各个零

部件之间的几何和工程约束信息,求得一个满足这些约束要求的最优的装配序列。装配序列规划是一个典型的组合优化问题。装配序列规划的实质是在各种几何约束条件和工艺约束条件的制约下,求出满足各种约束条件、性能优良的装配序列。从20世纪80年代开始,产品的装配序列规划及其理论得到了人们广泛的重视和讨论,许多求解装配序列的理论和方法被提出。目前,装配序列规划的求解方法主要有以下几种:

(1) 基于装配优先关系的方法。这种方法最早由 Bourjault^[2] 提出,主要通过人机交互的方式,通过回答一系列的问题,来获得产品的装配优先关系。De Fazio^[3] 改变了所提问题的形式,使得所需回答问题的数量相对于 Bourjault 有了很大的减少,但是相比于 Bourjault 所提出的方法中的问题,De Fazio 的方法中的问题很难进行回答。

(2) 割集法。这种方法主要由 Homem de Mello^[4] 提出,这种方法主要是基于数学中的图论,是一种较为严密的数学方法。通过对装配关联图的分解,得到产品的装配序列规划。这种方法对于装配体零部件数量较少的情况,能够准确地得到产品的装配序列;但是当产品中零部件数量较多时,很容易产生组合爆炸。

(3) 基于知识推理的方法。这种方法主要通过建立装配序列的知识库,通过一系列的转换和比较规则,将现有的装配体与知识库中所存储的产品结构进行比较,从而得到产品的装配序列,Yin^[5]、Dong^[6] 等对这种方法进行了研究。

(4) 启发式算法。近年来,启发式算法在求解各种 NP 难问题中显示出很好的特性,已经有不少的学者开始采用各种启发式算法来求解装配序列规划问题。Chen^[7]、Li^[8] 等使用神经网络和遗传算法求解装配序列规划问题,取得了不错的结果。

尽管上述各种方法在求解产品装配序列规划中取得了不错的成果,但是它们同样存在着一些问题,主要表现在对于现代结构复杂、零部件数量较多的产品的装配体,上述方法的求解效率通常非常低下。针对这个不足,通过将产品分解成各个子装配体从而减小问题的求解规模是一个有效的途径。Lee S^[9]、杨培林^[10-11] 等对子

装配体进行了研究。本文基于零部件之间连接关系的稳定性,建立权重连接关系图,通过对权重连接图进行划分,得到各个子装配体。

1 基于连接关系稳定性的权重连接图

一个产品通常是有很多的零部件以一定的装配连接关系,使用各种各样的连接件组成稳定的装配体,产品中零部件之间的这种连接关系可以用产品的装配连接图反映。通过对产品中各个零部件的连接关系进行分析,可以将零部件的连接关系大致分为3类。

(1) 稳定连接关系(Stable Connection, SC)。这种连接关系对零部件的连接是稳定的,被连接的零部件不会自发地发生分离的情况,需要借助于外力解开或者破坏这种连接关系,才能够分离被这种连接关系所连接的零部件。Tseng^[12]对常用的一些连接件进行了总结,其中的大部分连接件所构成的连接关系都是稳定的连接关系,如螺丝,焊接,胶水等连接件。

(2) 条件稳定连接关系(Conditional Stable Connection, CSC)。这种连接关系对于零部件的连接有时是稳定的,有时是不稳定的,在一定的条件下,零部件会自发地发生分离。这类连接关系的稳定性跟零部件的摆放方式、零部件的重心位置等有关。这类连接关系典型的有接触、倚靠。

(3) 不稳定连接关系(Unstable Connection, UC)。这种连接关系所连接的零部件需要有支撑部件的支撑才不会自发地发生分离,这种连接关系在一个完成的产品中通常是不可能存在的,但是,在产品的装配过程中,这种连接关系通常是存在的。

在一个产品中零件通常可以分为2类:功能零件和连接零件。功能零件是指一个产品功能的实现主要依靠这些零部件来实现,如果产品中的功能零件发生了变化,则常常会影响到产品技术参数的变化。如对于一个电动机,转轴是该电动机的功能零件,如果将该电动机的转轴更换为其他的型号,则会由于转轴上线圈的不同而影响到电动机的转速这项技术参数。连接零件是指在一个产品中连接各个功能零件的零件,这类零件通常依赖于产品的功能零件,如在一个电动机中连接底座和外壳的螺丝的直径等参数的确定,就依赖于底座和外壳这两个功能零件。连接零件通常可以分为固定连接零件和运动连接零件。固定连接零件是指被连接的功能零件之间没有相对运动,两者的位置是相对固定的。如:螺钉连接、键连接、螺栓连接等。运动连接零件主要是功能零件传递运动的,如:皮带、滑块等。图1为常用的连接零件类型。

产品的装配序列规划通常开始于产品的装配建模,

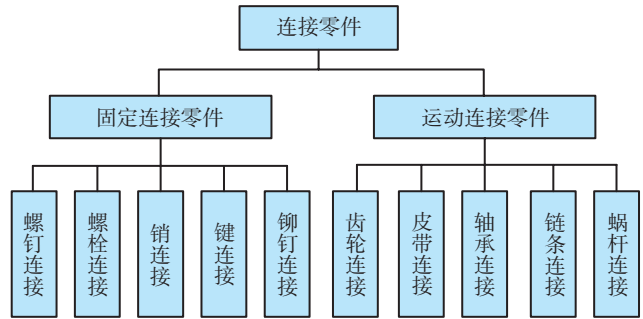


图1 常用连接零件分类

Fig.1 Classification of common connection part

通过上述对产品之间的连接关系的分类,建立产品的基于连接关系稳定性的权重连接图。这能很好地反映产品中零部件之间的连接关系,同时,反映两者之间的连接稳定性,为产品子装配体的生成提供基础。建立权重连接图主要可以分为2个步骤:

(1) 建立产品的装配连接关系图。在这里将产品中的功能部件使用结点进行表示,而连接零件、连接关系则使用线条来进行表示。这种方式有效地简化了产品装配建模的复杂度,又能够很好地表示出产品中零部件之间的关系。

(2) 分析产品零部件之间的连接关系稳定性,在连接图上标上连接关系的类型。

图2为一个简单的装配体,图3为该装配体的基于连接关系稳定性的权重连接图。其中,SC表示稳定连接关系(Stable Connection),CSC表示条件稳定连接关系(Conditional Stable Connection),UC表示不稳定连接关系(Unstable Connection)。

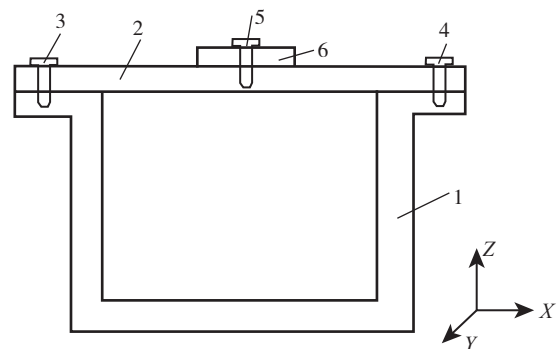


图2 简单装配体

Fig.2 Simple assembly part

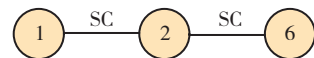


图3 稳定性权重连接图

Fig.3 Weight connection graph of stability

2 子装配体生成

2.1 子装配体的定义

一个由 N 个零部件组成的产品 $A=\{p_1, p_2, \dots, p_N\}$, 通常都存在由若干个由 m ($2 \leq m \leq N-1$) 个零部件组成的子装配 $S=\{p_1, p_2, \dots, p_m\}$, 同时, S 应该满足以下 2 个特性:

(1) 稳定性。 S 中各个零部件之间的连接关系应该是稳定的连接关系, 零件之间不会发生自发的分离。现代产品的结构都相当复杂, 由许多的子装配体所组成, 而这些子装配体通常也由不同的厂商进行制造、装配。因此, 对于具有稳定连接关系的子装配体在运送到工厂进行总装配时, 不需要各种支撑部件, 可以节省费用。

(2) 均衡性。一个复杂的产品通常具有很多个子装配体, 在分解子装配体时, 应该使得各个子装配体所含有的零部件的个数尽量相近, 这样后续求解子装配体的装配序列就会比较均衡。

子装配体通常可以分为 2 类: I 型子装配体和 II 型子装配体。I 型子装配体是指该子装配体装配完之后并不会影响产品中其他子装配体的装配, 即这种类型的子装配体可以实现并行装配。II 型子装配体是该类子装配体必须装配完才能够与产品中的其他零部件进行装配^[1]。图 4 所示装配体中可以分解成 2 个子装配体: 子装配体 1 (1,2)、子装配体 2 (3,4,5)。可以发现子装配体 2 会影响到子装配体 1 的装配, 如果先将子装配体 1 装配完成, 则会影响到整个产品的装配。因此, 在该装配体中包含有 II 型子装配体。

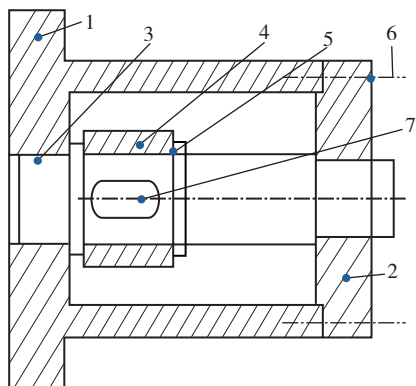
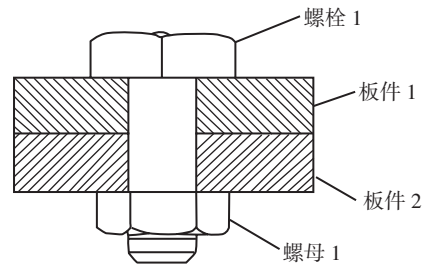


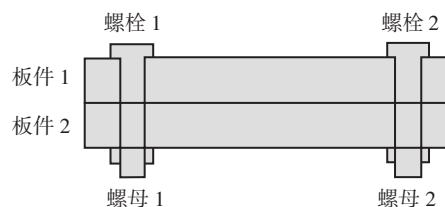
图4 装配体1
Fig.4 Assembly part 1

2.2 相似子装配体的定义

相似子装配体是一些含有零部件数量不多、类型相同的子装配体, 同时, 被这些连接件所约束的零部件的形状、材料也基本是相同的。图 5 所示的子装配体就是



(a) 子装配体 1



(b) 子装配体 2

图5 相似子装配体

Fig.5 Similar assembly parts

相似子装配体。由于构成材料、连接方式的相似性, 因此可以将相似子装配体中所包含的子装配体, 由一个工厂进行生产、组装。相似子装配体同时也是调整所分解的子装配体的均衡性的一种方法。

2.3 子装配体的生成

2.3.1 子装配体的生成算法

子装配体的生成算法(图 6)。

(1) 构建产品的稳定性权重连接图, 首先, 建立产品的装配连接关系图, 然后根据连接关系图中各个部件之间的稳定性, 设置部件之间的连接关系稳定性权重值。

(2) 根据稳定性权重连接图, 将其中稳定连接的各个零部件划分在一起, 分开条件稳定或者不稳定的零部件, 通过将稳定连接的部件安排在一起, 可以减少在实际的装配过程中对夹具、支撑件的需求量。

(3) 通过构建相似子装配体, 来调节各个子装配体之间的均衡性。

(4) 将最后孤立的节点归入到与其相连接子装配体中, 如果有多个子装配体与孤立的节点相连接, 则可以通过均衡性的原则调整。

2.3.2 实例计算

下面以一个台式虎钳(图 7)为例来说明子装配体的分解。图 8 为该产品的稳定性权重连接图。

通过分解, 可以得到上述装配体的初步子装配体:

$$\text{Subassembly1}=\{p_7, p_6\};$$

$$\text{Subassembly2}=\{p_8, p_9\};$$

$$\text{Subassembly3}=\{p_1, p_5, p_4, p_{11}\};$$

$$\text{Subassembly4}=\{p_{12}, p_{13}\};$$

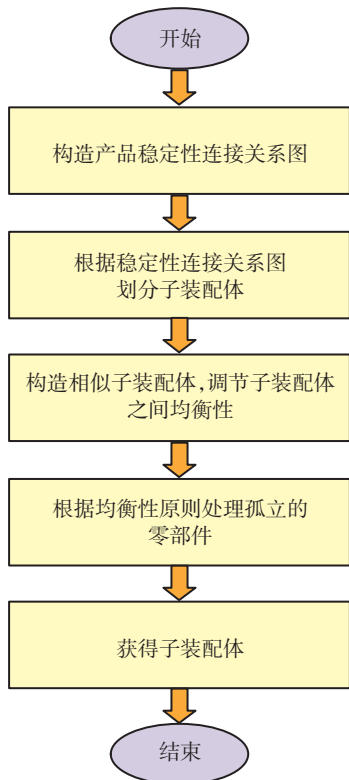


图6 算法流程图
Fig.6 Algorithm flow chart

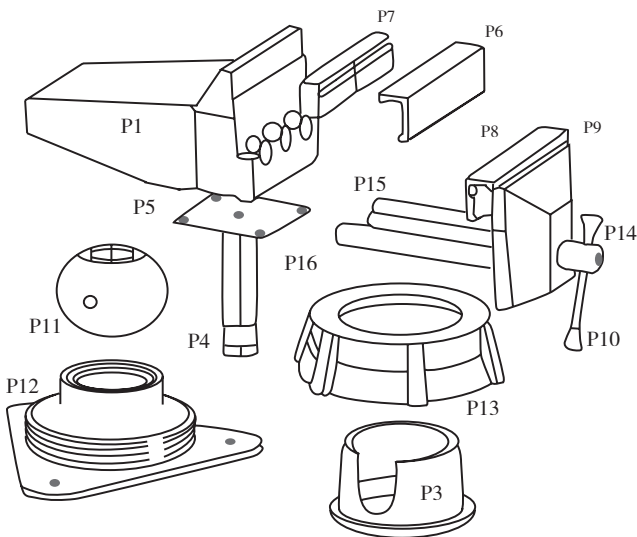


图7 台式虎钳分解图
Fig.7 Decomposition of stock vice

Subassembly5={ p15, p2, p16, p14, p10 };
Subassembly6={ p8, p9 };
可以发现 Subassembly1 和 Subassembly2 可以构成相似子装配体。同时,对于孤立节点 p3 可归入子装配体 Subassembly4 中,这样,每一个子装配体中所含有的零部件数量是很接近的,零部件个数相差的最大数量只

有 2。

通过使用相似子装配体进行均衡性调整,最终分解的子装配体如下:

Subassembly1' = { p1, p5, p4, p11 };
Subassembly2' = { p15, p2, p14, p16, p10 };
Subassembly3' = { p12, p13, p3 };
Similarity-Subassembly={ { p7, p6 }, { p8, p9 } }

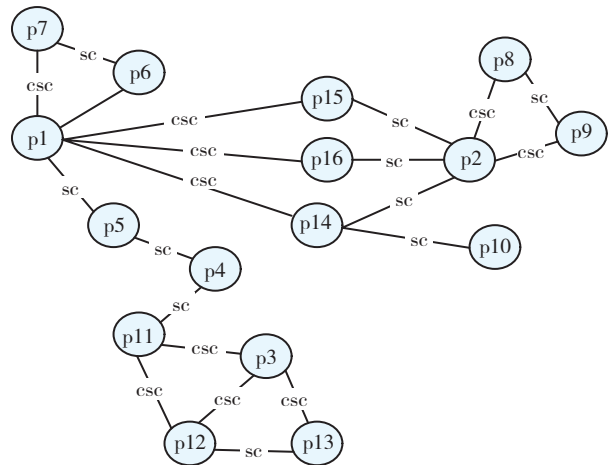


图8 台式虎钳的稳定性权重连接关系图
Fig.8 Stability weight connection relation graph of stock vice

上述产品中各个子装配体都是 I 型子装配体,这些子装配体可以并行进行装配,相互之间不存在先后关系。图 9 所示的装配体中存在着 II 型子装配体,图 10 是该装配体的稳定性权重连接关系图。本算法对于求解 II 型子装配体同样也有效。

在图 9 所示的装配体中,部件 1、11 是螺钉,7 为键,8 为卡环,都属于连接零件。因此,在稳定性权重连接关系图中这些零件都是采用线条来表示的。装配体中的子装配体是 II 型子装配体,可以发现 3、5、6、9 部件所构成的子装配体必须先装配完;2、4、10 所构成得到子装配体才能够进行装配。采用本文的算法可以得到如下的 2 个子装配体,2 个子装配体之间的零部件个数相差为 1:

Subassembly1={ 2, 4, 10 };
Subassembly2={ 3, 5, 6, 9 };
可以发现 Subassembly1 和 Subassembly2 可以构成相似子装配体。同时,对于孤立节点 p3 可归入子装配体 Subassembly4 中,这样,每一个子装配体中所含有的零部件数量是很接近的,零部件个数相差的最大数量只

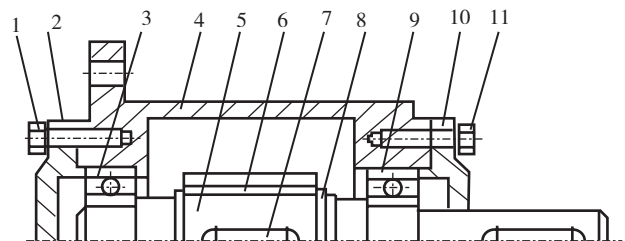


图9 装配体2
Fig.9 Assembly part 2

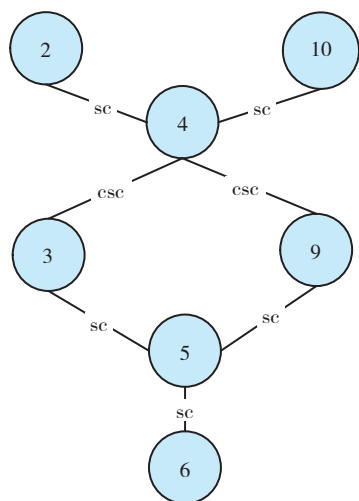


图10 装配体2的稳定性权重连接关系图
Fig.10 Stability weight connection relation graph of assembly part 2

Subassembly2={ 3,5,6,9 };

本算法求解得到的 II 型子装配体具有很好的稳定性和均衡性。

3 结论

本文建立了产品装配序列规划的稳定性权重连接关系图,基于该连接关系图,提出了分解子装配体的方法,给出了相似子装配体的概念,相似子装配体将功能和结构相似的子装配体归类在一起,这样能够将相同的子装配体由同一个工厂进行加工生产,满足现代产品分布式生产的要求。本文所求得子装配体具有很好的稳定性和均衡性。同时,本文所提出的算法对于 I 型子装配体和 II 型子装配体都能够很好地求解得到产品的子装配体。在今后的研究中,除了继续关注产品的零部件连接关系,还将研究各个零部件之间由于相互之间的干涉关系而形成的约束关系。同时对于子装配体之间的连接关系除了需要考虑各种连接零件之外还需要考虑其他的因素。

参考文献

- [1] Shan HB, Li SX, Gong DG, et al. Genetic simulated annealing algorithm-based assembly sequence planning. International Technology and Innovation Conference 2006 (ITIC 2006) CP 524:1573-1579.
- [2] Bourjault A. Contribution to a methodological approach of automated assembly. Automation Methodology in Manufacturing Industry, Paris, France, 1985: 12-46.
- [3] De Fazio T L, Whitney D E. Simplified generation of all mechanical assembly sequences. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1987,3(6):640-658.
- [4] Homem de Mello LS, Sanderson AC. A correct and complete algorithm for the generation of mechanical assembly sequences. IEEE Trans

Robot Autom, 1991, 7(2):228-240.

[5] Yin ZP, Ding H, Li HX, et al. A connector-based hierarchical approach to assembly sequence planning for mechanical assemblies. Comput-Aided Des, 2003, 35:37-56.

[6] Dong TY, Tong RF, Zhang L, et al. A knowledge based approach to assembly sequence planning. Int J Adv Manuf Technol, 2007, 32:1232-1244.

[7] Chen WC, Tai PH, Deng WJ, et al. A three-stage integrated approach for assembly sequence planning using neural networks. Expert Syst Appl, 2008, 34:1777-1786.

[8] Li JR, Khoo LP, Tor SB. A Tabu-enhanced genetic algorithm approach for assembly process planning. J Intell Manuf, 2003, 14(2):197-208.

[9] Lee S, Shin YG. Assembly planning Based on subassembly extraction in Proc. IEEE Conf. on Robotics and Automation (Cincinnati,OH), 1990:1606-1611.

[10] 杨培林,朱均,陈晓南. 装配规划中装配体的表达及子装配体的识别. 西安交通大学学报, 1999, 33(12):40-43.

[11] 杨培林,陈晓南,庞宣明. 装配体中的联接关系及子装配生成方法的研究. 西安交通大学学报, 2004, 38(11):1136-1139.

[12] Tseng HE, Rong KL. A novel means of generating assembly sequences using the connector concept J Intell Manuf, 1999(10): 423-435.

(责编 晓立)

(上接第 86 页)

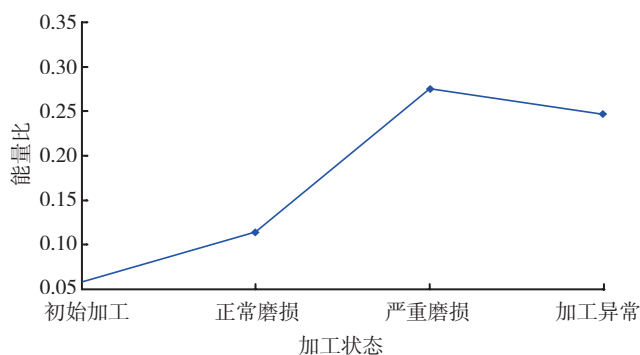


图9 不同加工状态下声音信号小波分析能量比趋势图
Fig.9 Tendency of wavelet energy ratio for sound signal in different forming conditions

布保持稳定,当丝锥严重磨损以及出现加工异常等情况时,声音信号能量急剧增加,且主频分布发生显著改变。

(2) 随着丝锥磨损量的增加,内螺纹冷挤压声音信号能量在开始加工后有一个略微下降的过程,在进入正常磨损阶段信号比较平稳,并随着磨损量的进一步增大而上升。

(3) 声音信号的高频能量比能够有效区分丝锥磨损形态;随着丝锥磨损量的加剧,五层小波分解后的高频能量比上升,高频部分所占比例越来越高;丝锥进入严重磨损阶段后,其高频能量比数值在 0.3 附近。

(责编 晓立)