

面向飞机装配结构的层级网络模型^{*}

Aircraft Assembly Structure-Oriented Layered Hierarchy Network Model

西北工业大学 CAD/CAM 国家重点实验室 余剑峰 李 原 杨海成

[摘要] 在分析飞机装配结构特点的基础上,提出面向飞机装配特点的层级网络模型,介绍了层级网络模型的建立方法。以产品总体结构网和装配单元结构网的复合概念构造飞机装配的分级结构,以拓展的 LADGA 表达方式反映飞机结构装配中钣金件在装配方向上堆叠成层的特性,能够有效表达飞机装配特性,支持飞机装配工艺规划及可装配性评价等下游环节的处理。

关键词: 装配模型 虚拟装配 面向装配的设计 飞机装配

[ABSTRACT] Based on analysis of aircraft assembly structure characteristics, aircraft assembly characteristics-oriented layered hierarchy network model is presented. The modeling method for layered hierarchy network model is introduced. Extended LADGA is used to express the feature of stacking into layers of sheet metal parts in the assembly direction of aircraft structure assembly and the aircraft assembly features can be effectively expressed and the process of down-stream link, such as aircraft assembly technologic planning and assemblability assessment, is dealt with.

Keywords: Assembly model Virtual assembly Assembly-oriented design Aircraft assembly

产品装配模型是面向装配的设计和虚拟装配规划与分析的基础,它的建立和表示实质上就是如何在计算机内有效地表达装配体内在和外在的关系,建立一个能够描述产品层次信息、装配关系信息、设计参数及其约束信息的产品模型。目前,产品装配模型的表示方法可以大致分为 3 种:关联模型^[1,2]、层次模型^[3,4]和高级数据结构表示^[5,6]。

现有的装配模型表示各有优劣,但主要适用于一般刚性机械产品,并没有充分考虑到飞机装配结构中较为特别的特征,因此并不能很好地适用于描述飞机装配,支持飞机装配工艺规划及可装配性评价等下游环节的处理。

1 层级网络模型的提出

1.1 飞机装配结构表示的需求

飞机结构复杂,零组件数量巨大,特别是机体结构主要由大量形状复杂、连接面多、尺寸大、刚性小、易变形的钣金件或非金属薄壁零件组成,且组合成的外形具有严格的技术要求,因此飞机装配除有一般机械产品装配的共同性原理外,还有一些有别于其他行业的制造特点,主要体现在:

- 具有比一般机械产品装配更为繁复的分级结构,从低到高可划分为组件、壁板、分段件、段件和部件;
- 在组件和壁板结构中,大量的钣金件在装配方向上堆叠成层,同层之间的零件没有明显的优先顺序约束;
- 具有大量的连接件,每个连接件所连接的零件层数可能不同;
- 需要体现产品尺寸和形状的专用装配型架来确保零件的刚度及其正确排布,辅助进行装配工作
- 多数零件具有有限的装配方向,通常与零件的贴合表面垂直;
- 具有更多的技术性约束,如连接操作之间的优先性等,这些使得装配规划和装配工作更难于自动化。

目前的装配模型中并没有针对飞机装配这些特点的处理,而这些信息在后继的装配顺序规划及可装配性分析中起着重要的作用,因此需要构建一种合适的装配模型表达方式以适应此需求。

1.2 层次网络模型表示

层级网络模型分为两部分,第一部分为产品总体结构网,第二部分为装配单元结构网。产品总体结构网描述组成产品的各装配单元的划分以及这些装配单元之间的相互关系。装配单元结构网采用拓展后的带属性的分层有向无环图(LDAGA)来描述装配单元内各零部件之间的装配关系和装配方法。将产品总体结构网和装配单元结构网合并即可得到产品装配结构的层级网络模型,如图 1 所示。

对构成产品装配的零部件,统称为构件,可分为功能构件和连接件。装配单元结构网中的节点表示功能

^{*} 航空科学基金资助项目(01H53067)。

构件,包括作为装配基准和支撑的基础构件和一般零部件。

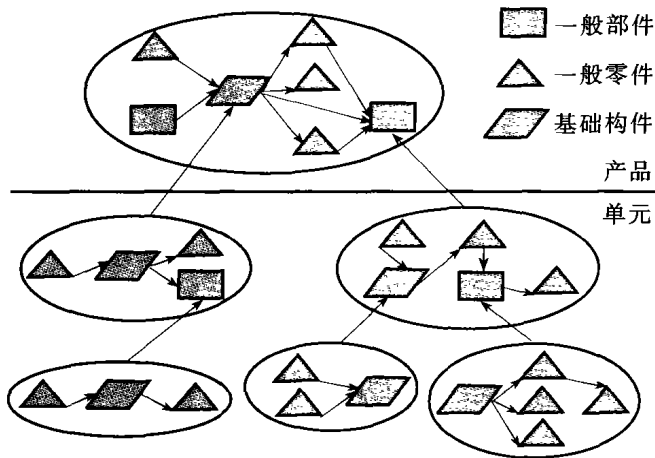


图1 层级网络模型

Fig.1 Layered hierarchy network model

2 层次网络模型的建立

层次网络模型是通过分析构件之间的装配关系来确定的,因而首先需要对装配关系进行适当的描述。装配关系包含了装配几何关系和装配连接关系,其中装配几何关系描述了构件之间的位置关系和配合关系,而装配连接关系则描述了构件之间的连接方式。装配几何关系本质上可以归结为构件的配合元素(即参与配合的点、线、面)之间的几何约束关系,通过约束求解可以确定出零件之间的位置、方向关系,从而形成装配体的构成描述,即产品的装配体空间构型。

2.1 装配关联约束图

从工程设计的角度,装配几何约束可以分为接触和定向两类。

(1)接触约束。描述两个配合元素之间的位置关系,包括:

- 贴合(Mate)。两表面接触且法矢相反。
- 对齐(Align)。两配合元素重合,包括点对齐(两点重合)、边对齐(两边重合在同一直线上)、边与面对齐(边在面上)以及面对齐(两表面重合且法矢同向)。
- 偏移(Offset)。两表面平行且有一定距离(法矢同向或反向)。
- 切合(Tangent)。两表面接触且切矢重合。

(2)定向约束。描述两个配合元素之间的方向关系,包括平行、垂直和夹角。

在这种几何约束关系描述下,构件可以定义为一个配合元素的集合,即: $P = \{E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_m\}$ 。从CAD系统提供的产品装配体描述中进行配合关系

提取和分析,可以得到如图2所示的配合关系图。其中,每一个零件针对图中的一个节点。零件所包含的被装配几何约束引用的特征元素作为零件节点的属性以树的形式表示。 a 为零件的编号数 $\{a = 1, 2, \dots, n\}$, b 为被引用元素的编号 $\{b = 1, 2, \dots, l\}$ 。

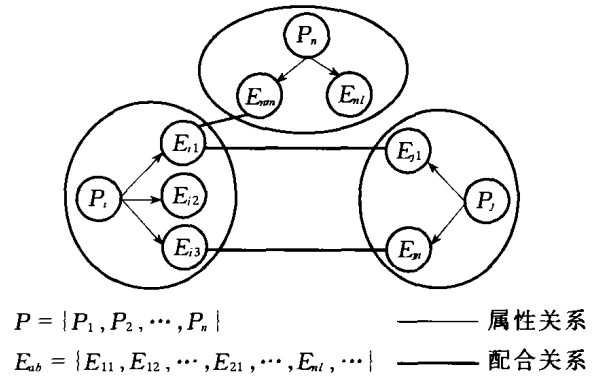


图2 配合关系图

Fig.2 Matching relationship diagram

通过图的缩减可以合并零件节点之间的多重边,形成构件之间只有一条边的无向图。配合关系图的缩减算法如下,其过程如图3所示。

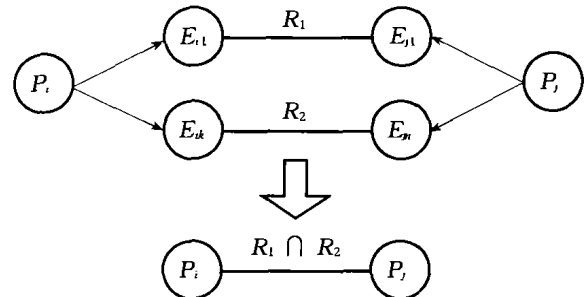


图3 配合关系图的缩减

Fig.3 Reduction of matching relationship diagram

procedure Graph_Reduction (Liaison graph)

Part-Relations \leftarrow NIL

Coupled-Parts \leftarrow Multiply_Edge (Liaison graph)

While Coupled-Parts is not empty Do

Begin L1

Part-Relations \leftarrow Constraint_Intersection (Coupled-Parts)

End L1

Return Part-Relations

End procedure

缩减后的无向图描述了构件之间的装配几何关系,称为装配关联约束图。

定义:对于具有 n 个零件的装配产品 A , 装配关联约束图 G_L 是指有序三元组 (P, C, ϕ) , 其中: $P = \{P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n\}$ 为组成零件集合; $C = \{C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_m\}$ 为装配几何约束集; ϕ 是 C 到 P 中元素无序对簇 $P \times P$ 的函数, 称为关联函数。

2.2 连接组的框架表示

装配关联约束图仅仅表达了装配几何关系, 尚需对零件之间的连接方式即装配联接关系进行描述。

零件之间的连接方式可分为直接连接和间接连接两种, 直接连接中配合约束是由零件表面间存在的直接物理接触导致的, 典型的连接方法包括螺纹连接、花键连接、弹性连接以及紧配合等; 间接连接中配合约束是通过某种连接介质施加的, 典型的连接方法包括螺栓连接、铆接、键连接、销连接、焊接和胶接等。为了统一表示两种连接方式, 引入连接件的概念, 连接件可以是实体的, 如螺栓、铆钉、胶剂等, 也可以是虚拟的, 如紧配合的两零件表面。

我们将由连接件(实体的或是虚拟的)连接在一起的零件组合称为连接组。根据连接件的种类, 连接组相应地分为螺栓连接组、铆接连接组、焊接连接组等等。针对每一类连接组, 应用框架来描述其蕴含的信息, 包括待连接零件中参与配合的特征表面偶集 $MES \{ \langle type, entity \rangle \}$ 、特征参数偶集 $FPS \{ \langle name, value \rangle \}$ 、连接件参数偶集 $JPS \{ \langle type, number \rangle \}$ 、可装配方向 FAD 、匹配约束关系集 CRS 以及装配操作规程集 APS 。例如螺栓螺母连接的框架表达为:

JointGroup: Screw-Bolt

MES: Cylinder(feature-face-entity # 1)

Plane(feature-face-entity # 2)

Plane(feature-face-entity # 3)

FPS: Diameter(20)

Length(100)

JPS: (Bolt, 2)

(Nut, 2)

(Washer, 2)

FAD: (normal (feature-face-entity # 3) \cap axis (feature-face-entity # 1)

.....

2.3 分层有向无环图的构建

根据连接组的框架表示, 可以在装配关联约束图中识别出每个连接组, 并转化为有向无环图(ADGA)描述, 其过程为:

· STEP 1: 根据装配关联约束图确定配合特征表面组 $\Psi_i \{ M_k \}$, 搜索与 $\Psi_i \{ M_k \}$ 中各元素类型及拓扑关系匹配的连接组框架 JF, 并建立 JF 的实例对象

je_i 。

· STEP 2: 建立 je_i 对应的装配方向 FAD。

· STEP 3: 根据 je_i 中的装配方向寻找头零件, 即连接组中装配方向上的最外层零件。

· STEP 4: 标出按装配方向临近最前面的一个零件, 并在它们之间划上方向连线。

· STEP 5: 如果最后一个零件已被标示出, 即停止标示, 否则继续寻找临近零件和划方向连线。

· STEP 6: 将 je_i 以图节点属性挂靠在头零件上, 形成 ADGA。

经过识别转换后, 每个连接组都对应一个 ADGA。为获得装配体的 LADGA, 需把装配体中所有连接组的 ADGA 合并起来, 并将合并生成的装配体集成 ADGA 变换成 LADGA。

在 LADGA 结构中, 处于同一层次的零件没有优先约束(除技术约束外), 而有向边表明了零件的装配顺序, 通过一定的遍历算法可以容易地得出装配顺序规划。而连接组的框架表示为可装配性分析提供了大量的信息。

3 结束语

本文对飞机装配不同于一般机械产品装配的特殊之处进行了分析, 并有针对性地提出了层级网络模型, 有效地反映了飞机装配从组件到部件的分级结构, 以及钣金零件在装配方向上堆叠成层的特性。这种装配模型有利于制订进一步的装配顺序规划和进行可装配性分析。

参 考 文 献

- 1 Lieberman L I, Wesley M A, Grossman D D. A geometric modeling system for automated mechanical assembly. IBM Journal of Research and Development, 1980, 24(1): 64~74
- 2 Homem de Mello L S, Sanderson A C. A correct and complete algorithm for the generation of mechanical assembly sequences. IEEE Transaction on Robotics and Automation, 1991, 7(2): 228~240
- 3 Eastman C M. The design of assemblies. SAE Technical Paper Series, Society of Automotive Engineering, USA, 1981
- 4 Lee K, Gossard D. A hierarchical data structure for representing assemblies: part 1. Computer Aided Design, 1985, 17: 20~24
- 5 Roy U, Liu C R. Establishment of functional relationships between product components in assembly database. Computer Aided Design, 1988, 20(10): 570~580
- 6 Chakrabarty S, Wolter J. A structure-oriented approach to assembly sequence planning. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1997, 13(1): 14~29

(责编 宇 迪)