基于飞机三维模型的装配单元快速划分方法

王自军 郑国磊 杜宝瑞

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院，北京 100191) (沈阳飞机工业(集团)有限公司工程部，沈阳 110034)

摘 要：以航空企业实际调研为基础，在传统飞机装配单元划分经验知识的指导下结合当前飞机数字化技术开展基于飞机三维模型的装配单元快速划分技术研究，提出以三维工艺分离面作为数字化装配单元划分依据，建立其建模算法和流程，并在此基础上进行装配单元构件快速识别和建模研究，建立装配单元快速识别和建模算法，从而实现装配单元的快速划分. 这些技术和方法已在 CATIA V5 系统上得到初步开发和验证.

关 键 词：装配单元；工艺分离面；装配单元建模；三维数字化技术

中图分类号：TP 391.7

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2009)12-1495-04

Rapid partitioning of an aircraft 3D model into its assembly cells

Wang Zijun Zheng Guolei

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Du Baorui

(The Department of Engineering, Shenyang Aircraft Limited Company, Shenyang 110034, China)

Abstract: By the investigation of practical production the methods of aircraft assembly cell partition in the field of home aviation were wildly collected and deeply known about. Refer to the literature and information about the technique of aircraft assembly, the traditional experiences and knowledge of aircraft assembly cell partition were sorted out in detail and deeply analyzed. The digital technique of aircraft assembly cell rapid partition was investigated on 3D modeling of aircraft. The 3D process split surface which becomes the foundation for digital assembly cell partition was put forward and defined, and its modeling arithmetic was constructed respectably. Then based on the 3D process split surface, the methods of the component recognition and modeling for an assembly cell were put forward. The rules of the component recognition were established accordingly and the modeling arithmetic of new assembly cell was constructed. The proposed techniques were initially developed and verified on the CATIA V5 system.

Key words: assembly cell; process split surface; assembly cell modeling; 3D digital technology

飞机结构需要划分为多个层次的装配单元，以满足其构造、使用、维护和生产方面的要求[1-2]. 目前，工艺设计员仍是通过手工方式在二维工程图上完成装配单元划分工作，无法直观了解和判断其划分结果的合理性和有效性，这也是造成在工艺规划中需要反复修改设计，在工艺实施中装配协调复杂性增加的主要原因. 同时，通过大量的文献查阅发现，国内外针对装配单元划分技术的研究也相对较少，只是在文献[3]中提到采用基于实例对于改型机进行装配单元划分，在文献[4-5]中采用图像分解、文献[6]中采用模糊数学等方法进行装配序列规划的研究中涉及到子装配体的识别等，无法满足现代飞机发展的需要.

本文提出并建立飞机数字化装配单元快速划

收稿日期：2009-01-15

基金项目：863 专项资助项目(SQ2007AA04XD140634)

作者简介：王自军(1981-)，男，河南周口人，博士生，wangzijun@me.buaa.edu.cn.

分方法，研究和建立三维工艺分离面构造、装配单元构件识别和建模等算法，并开发相应的功能模块，实现基于飞机三维模型快速划分装配单元，以解决传统方法存在的问题.

1 飞机装配单元及其划分原则

1.1 飞机装配单元

设飞机共包含 $m(m>0)$ 个零件 $P=\{p_i \mid i=1,2,\cdots,m\}$，将这些零件划分为 $n(n>0)$ 个装配单元 $A=\{a_i \mid i=1,2,\cdots,n\}$，第 i 个装配单元 a_i 为

$$a_i = P_i \cup A_i \tag{1}$$

$$P_i = \{p_i^j \mid p_i^j \in P, 0 < j \leqslant m_i \leqslant m\} \tag{2}$$

$$A_i = \{a_i^k \mid a_i^k \in A, a_i^k \neq a_i, 0 \leqslant k \leqslant n_i \leqslant n\} \tag{3}$$

其中，P 和 A 分别为零件和装配单元的集合；P_i 和 A_i 为构成 a_i 的零件集合和装配单元集合；m_i $(m_i>0)$ 和 n_i $(n_i \geqslant 0)$ 为 P_i 零件数和 A_i 装配单元数.

1.2 划分原则

传统上装配单元划分需要遵循一系列原则，主要包括：

1）适应现有的工艺方法，便于实现加工、装配和测量；

2）满足结构设计及使用性能要求；

3）改善人机性能；

4）缩短生产时间.

此外，还要考虑工艺成本、使用和维护方便性及运输可行性等要求[7-8]. 这些原则和要求既是传统装配单元划分的依据，同时也是数字化装配单元划分结果的评判标准和优化目标.

2 数字化快速划分关键技术

图1为基于飞机三维模型的数字化装配单元快速划分流程，下面将对其中涉及的关键技术方法进行分别阐述.

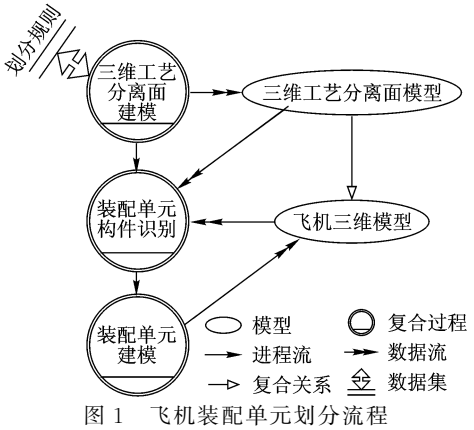


图1 飞机装配单元划分流程

2.1 三维工艺分离面建模

由飞机结构可知，飞机装配单元之间对接结合处多为平面或可近似为平面，亦即工艺分离面多为平面或可近似为平面. 因此，将飞机结构上的工艺分离面全部简化为平面或是由多个平面构成的组合面.

本文采用面扩展法构建三维工艺分离面，以作为基于三维模型飞机装配单元快速划分的依据. 所谓面扩展法是指在零件型面上自定义一点 B 为基点，以该点处零件型面的法矢 $\boldsymbol{N}$ 为参考元素，构造形成平面 s 的方法. 其中法矢 $\boldsymbol{N}$ 指向目标装配单元为正向. 图2所示为零件型面的两种基本简化形式.

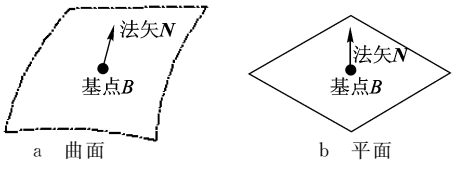


图2 零件型面简化形式

采用面扩展法的三维工艺分离面建模算法流程如图3所示. 其中基点 B 和参考法矢 $\boldsymbol{N}$ 根据选择对合面上的位置自动获取，由组成面实体构建算法自动生成三维工艺分离面的组成平面 s^i $(i=1,2,\cdots)$，并被存储于组成面集合 $\varphi_s=\{s^i \mid i=1,2,\cdots\}$ 中，另外在选择对合面为曲面形式时可连续调整组成平面实体生成的位置；装配单元划分是递归循环过程，则在三维工艺分离面建模过程中，其组成面 s^i $(s^i \in \varphi_s)$ 与 s^j $(s^j \in \varphi_s, i \neq j)$ 之间不存在总是相互平行的情况，s^i 与 s^j 相交将自动进行相交分割运算，被分割面保留分割面法矢正向部分.

2.2 装配单元构件识别

三维工艺分离面的组成平面与产品零组件的关系总体分为相交和相离，相切或与零件型面重合的情况也归入相离的类型. 对于装配单元构件识别，本文提出如下两个判断准则：

1）几何度量准则. 几何度量即零件与三维工艺分离面组成平面处于相离状态时，两者之间的方向距离 D，如图4所示. 其中，当 D 与组成平面法矢 $\boldsymbol{N}$ 同向时为正向，该零件归属于划分的目标装配单元；否则为负向，该零件不属于划分的目标装配单元；且当 $D=0$ 时同样具有正负方向. 因此，这里采用几何度量的方法对相离关系的零组件进行识别和判断.

2）配合约束准则. 对于 p^i 的配合约束可以表示为

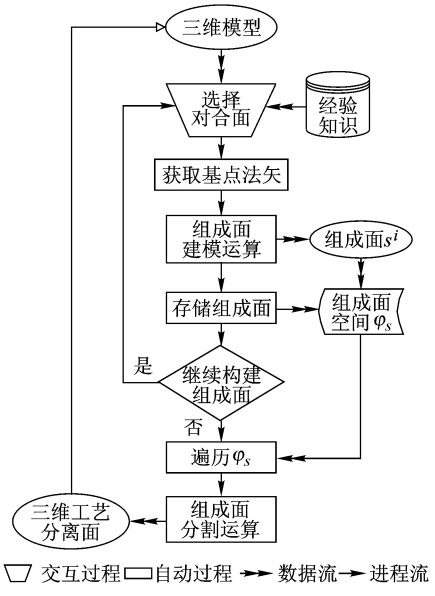


图 3　工艺分离面定义及建模流程

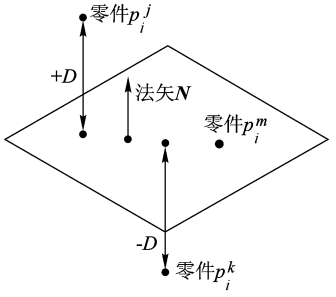


图 4　零件与平面关系

$$C_i=\{p^j,T,G \mid p^j \in P, i \neq j, 0<j \leqslant n\} \tag{4}$$

其中,C 为设计配合约束;T 为配合约束类型;G 为几何要素.由飞机的装配过程可知,当 p^i 的主配合约束来自 p^j 时,则 p^i 和 p^j 应属于同一个装配件.因此,当零件与三维工艺分离面组成面处于相交状态时,可依据配合约束关系判断其归属:

① 当 p^i 为相交零件,p^j 具有确定归属时,可依据 p^j 的归属状态判定 p^i 的归属,即当 p^j 为目标零件时,p^i 也为目标零件,否者亦然;

② 当 p^i 和 p^j 都为相交零件时,需首先依据 p^j 的主配合约束零件判定 p^j 的归属,然后再确定 p^i,这是递归循环的过程.

应用上述两类准则,建立图 5 所示的装配单元构件识别算法.识别过程首先采用几何度量规则,然后使用配合约束准则,最后还需采用少量的交互判断,以提高准确度.

2.3　装配单元建模

以装配单元构件识别结果 φ_g 为依据构建全新装配件模型是数字化环境下基于飞机三维模型装配单元快速划分的目标.如图 6 所示装配单元

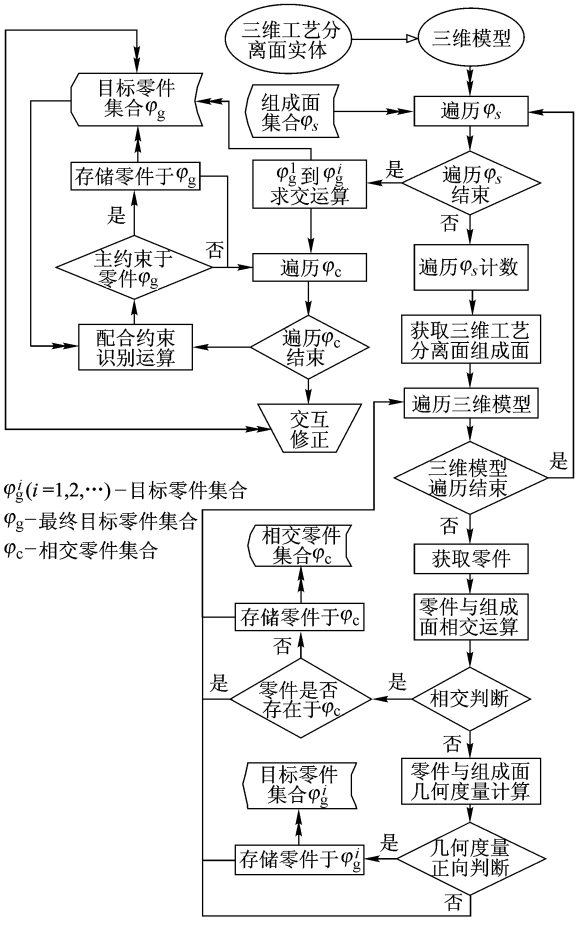


图 5　识别算法流程

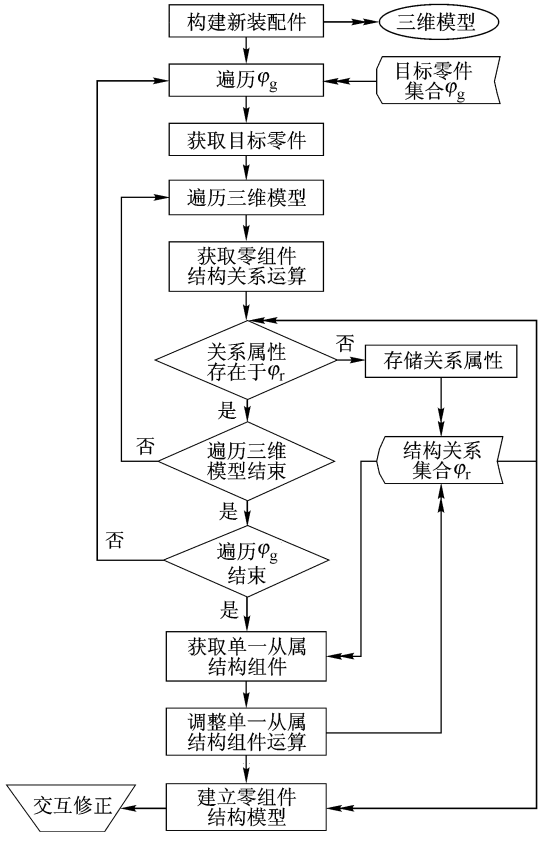


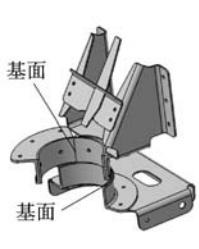
图 6　装配单元建模算法流程

建模算法流程，其中对于被分割组件的建模是其重点内容. 建模流程为：①自动在原三维模型下建立新装配件结构；②遍历 φ_g 获得目标零件；③遍历三维模型获取目标零件全部结构关系，包含零件与组件、组件与组件，并按级分层形成父子结构关系储存于结构关系集合 φ_r，这个过程是递归循环，直至获取 φ_g 中所有零件的无重复结构关系；④对于 φ_r 中的单一从属结构组件进行调整，即去除只具有一个下级结构的组件结构关系，并将其下级结构与其上级结构建立新的结构关系；⑤根据调整后的 φ_r 在新装配件模型下自动建立零组件结构模型；⑥通过少量的人工交互对于建立的装配单元模型进行修正.

3 开发及应用

应用上述研究和建立的技术方法及算法，在CATIA V5系统上成功地开发了“飞机装配单元快速划分”模块原型，并进行了试运行和测试，如图7所示.

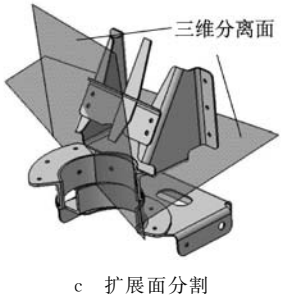
结果表明，采用这些技术和方法，可有效地实现基于飞机三维模型的装配单元快速划分，并获得良好的使用效果.



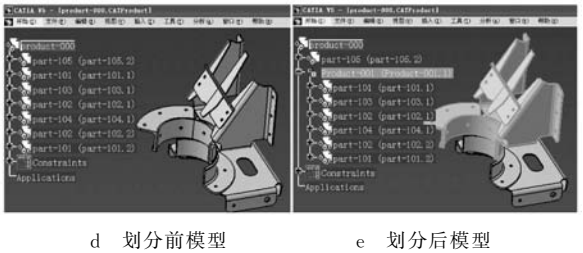
a 基点选择



b 面扩展



c 扩展面分割



d 划分前模型 e 划分后模型

图7 装配单元快速划分实例

4 结束语

本文在深入分析飞机装配单元划分原则、专业方法及其存在问题的基础上，提出了飞机数字化装配单元快速划分方法，对包括采用面扩展法构建三维工艺分离面，以及利用三维工艺分离面进行构件识别和装配单元建模等关键技术进行了深入研究，并开发了功能模块原型，运行测试结果表明上述提出和建立的技术方法可行，可有效解决传统方法存在的问题. 不过，在测试中也发现，装配单元划分的自动化程度仍有待提高，这是下一步研究需要关注的重点.

参考文献（References）

[1] 刘忠梁. 飞机装配协调互换问题与装配型架设计安装[M]. 北京：航空工业出版社，1991：26－27
Liu Zhongliang. Aircraft assembly coordination & exchange problem and assembly fixture design & installation [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1991: 26－27(in Chinese)

[2] 巴布什金 А и. 飞机结构装配方法[M]. 崔连信，译. 北京：航空工业出版社，1990：57－138
Бабушкин А и. Aircraft structure assembly method[M]. Translated by Cui Lianxin. Beijing: Aviation Industry Press, 1990: 57－138(in Chinese)

[3] 薛鹏，李原，彭培林. 基于实例的飞机装配单元划分技术研究[J]. 中国机械工程，2007，18(9)：2318－2321
Xue Peng, Li Yuan, Peng Peilin. Partitioning assembly cells for aircraft using case-based reasoning [J]. China Mechanical Engineering, 2007, 18(9): 2318－2321 (in Chinese)

[4] Boujault A. Contribution a une approche methodologique de l'assemblage automatise: Elaboration automatique des sequences operatoires[D]. Besancon: Universite de Franche-Counte, 1984

[5] Hemem De Mello L S, Sanderson A C. Automatic generation of mechanical assembly sequences[R]CMU-RI-TR-88-19, 1988: 55－61

[6] 王艳玮，樊其瑾，彭炎午. 基于模糊聚类的产品合理子装配划分[J]. 机械科学与技术，2001，20(2)：299－302
Wang Yanwei, Fan Qijin, Peng Yanwu. Product subassembly partition method based on fuzzy clustering [J]. Mechanical Science and Technology, 2001, 20(2): 299－302 (in Chinese)

[7] 姚任远，蔡青. 飞机装配技术[M]. 北京：国防工业出版社，1993：19－24，111－118
Yao Renyuan, Cai Qing. Technology on airplane assembly [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1993: 19－24, 111－118(in Chinese)

[8]《航空制造工程手册》总编委会. 航空制造工程手册：飞机装配[M]. 北京：航空工业出版社，1993：21－24，30－40
Total Editorial Board of Aviation Manufacturing Engineering Manual. Aviation manufacturing engineering manual: aircraft assembly[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1993: 21－24, 30－40(in Chinese)

（编 辑：文丽芳）