

# 基于局部特征的飞机结构件快速交互工艺决策方法\*

## Part Feature-Based Fast Interactive Process Planning Method in Aircraft Structural Part

南京航空航天大学机电学院 高鑫 李迎光 李海  
中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司数控加工厂 楚王伟

**[摘要]** 针对基于特征的 CAPP/CAM 系统不能完全自动工艺决策以及交互工艺决策效率低等问题,本文提出了基于局部特征的飞机结构件快速交互工艺决策方法。该方法在局部特征识别结果的基础上,通过调用典型特征工艺知识库,生成局部特征工艺信息模型,并采用交互手段对工艺模型进行编辑修改,完成工艺决策。实例应用表明:该方法扩大了基于特征的自动工艺决策系统的应用范围,提高了工艺决策和数控编程效率。

**关键词:** 飞机结构件 特征 局部特征识别 交互工艺决策

**[ABSTRACT]** A part feature-based process planning method is proposed to address the problem concerning the incomplete automatic process planning of the feature-based CAPP / CAM system and the low efficiency of the interactive process planning. In this method, part feature is recognized first. Then typical feature-based process knowledge database is called to generate part feature process information model. Ultimately, the process information model can be edited by processor to complete process planning. This method expands the scope of application of the automatic process planning system based on feature, and improves the efficiency of process planning and NC programming.

**Keywords:** Aircraft structural part Feature Part feature recognition Interactive process planning

飞机结构件是构成飞机机体骨架和气动外形的重要组成部分,占飞机机加零件 80% 以上。飞机结构件尺寸大,加工特征多,结构复杂,包含大量自由曲面和相交特征,加工精度和质量要求高,数控编程周期长,加工难度大<sup>[1]</sup>。

为了提高复杂结构件的数控加工编程效率,特征技术被广泛应用于自动化编程中。目前各种自动编程系统的自动特征识别、工艺决策结果存在局部特征遗漏和

错误的情况<sup>[2]</sup>;同时存在复杂零件不能整体识别而局部可识别的情况。因此无论是查找遗漏的特征或者处理复杂零件局部工艺决策,都需要耗费工艺人员大量的时间。

针对以上问题,本文提出了基于局部特征的飞机结构件快速交互工艺决策技术,解决自动数控编程系统由于特征识别或者工艺决策局部错误造成的效率低下的问题。基于以上方法,用户可以根据工艺需求,快速灵活的进行局部特征识别和工艺决策,扩大了基于特征数控编程系统的应用范围。

## 1 基于特征的工艺决策研究现状

工艺决策的结果是数控编程的依据,自动工艺决策是提高编程效率的重要途径。国内外学者对此进行了广泛而深入的研究。

Zhenkai Liu 等<sup>[3]</sup>提出几何和知识混合推理生成加工特征顺序的方法;Junho Shin 等<sup>[4]</sup>提出了马尔科夫链和启发式混合特征排序算法;H. C. Chang 等<sup>[5]</sup>给出了一种基于网络结构的工艺表示方法,并应用动态规划法实现了加工工艺的动态规划;郝永涛等<sup>[6]</sup>针对孔的加工规划问题,提出一种基于知识推理的由特征结构、前向网络和数学排序模型 3 部分组成的加工工艺规划方法;秦宝荣<sup>[7]</sup>应用模糊综合理论和方法建立特征加工方案的多维推理模型;李宁等<sup>[8]</sup>应用分治法思想对飞机结构件框类零件槽特征排序,以达到刀具非切削行程最短的目的。吴玉光等<sup>[9]</sup>根据特征具体加工方法和相交特征的相交边界类型建立相交特征间的加工顺序约束关系。

以上的研究中,都采用基于特征的方法解决了工艺决策中的难题,提高了加工编程的效率,但没能解决自动工艺决策结果检查和交互编辑问题。

## 2 基于局部特征的快速交互工艺决策方法框架

基于局部特征的快速交互工艺决策方法主要包括 2 个部分:局部特征的识别和识别结果的交互工艺决策。识别与工艺决策 2 个模块之间通过 XML 文件进行传递。该方法的框架如图 1 所示。

\* 国家科技重大专项(2010ZX04010041)。

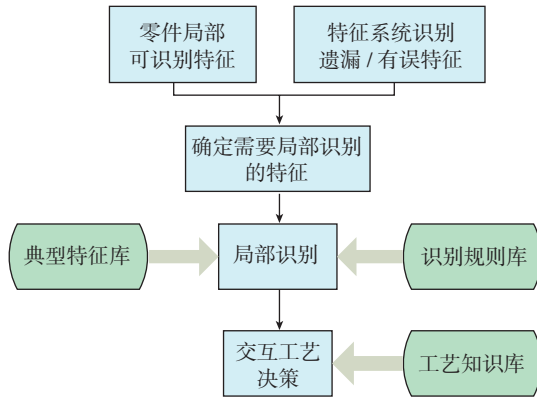


图1 基于局部特征的快速工艺决策方法框架

Fig.1 Framework of part feature-based fast interactive process planning

### 3 局部特征

局部特征是相对于零件所有特征而言的。因为现行的特征识别系统识别特征时都是对零件整体进行识别,灵活性差,由于特征定义的局限性和特征的复杂性,对零件局部的某些特征识别时会被遗漏或出现错误,同时存在复杂零件可识别的局部特征。为了解决这些特征的识别加工问题,提高特征识别的灵活性,扩大基于特征数控编程系统的应用范围,利用局部特征的概念<sup>[10]</sup>,提出局部特征的识别算法。

#### 3.1 局部特征的确定

局部特征识别算法在实际应用中,首先是工艺决策所需局部特征的确定,包含可识别局部特征和识别遗漏错误特征2种情况。其中可识别局部特征通过特征标识面确定,而识别遗漏和错误的特征则通过特征结果自动评估系统来获取。

##### 3.1.1 零件可识别局部特征

实际生产中,基于特征的自动识别系统可能无法满足复杂外形零件的整体特征识别的需求,针对此类复杂零件的可识别局部特征,可以通过选择特征标识面,运用局部特征识别算法进行识别。

其中特征标识面指的是特征属性中最能代表该特征的几何元素,通过特征标识面可以确定特征的类型。几种典型特征类型的标识面如表1所示。

表1 典型特征标识面

特征类型	转角特征	槽特征	孔特征	筋特征	轮廓特征
特征标识面	转角面	槽腹板	孔侧壁	筋顶面	主拓扑面

##### 3.1.2 自动特征识别系统识别遗漏及错误的特征

特征识别是一个将零件实体模型转化为特征模型的过程。由于特征结构的复杂性以及特征类型的多样性,自动特征识别系统往往无法保证识别结果的准确性,存在识别遗漏和错误的特征。这部分特征如果采用

人工工艺决策,需要耗费工艺员大量的时间,因此这部分特征是需要进行局部识别和快速交互工艺决策的主要特征对象。

这些特征的获取如果采用手动检查,需要耗费大量时间,效率低下。为了提高工作效率,本文提出了识别结果自动评估方法。

#### 3.1.3 特征结果自动评估算法

该系统主要包括2部分:

(1)与典型特征库进行比对,查看特征结果是否包含所有必要特征属性;如果发现特征中某些必要属性为空,则将此特征存入待识别特征库,以便进行局部识别。

(2)将识别前后的零件模型进行布尔运算,找出识别前后模型的差别,并在零件上高亮显示。自动评估系统算法如图2所示。

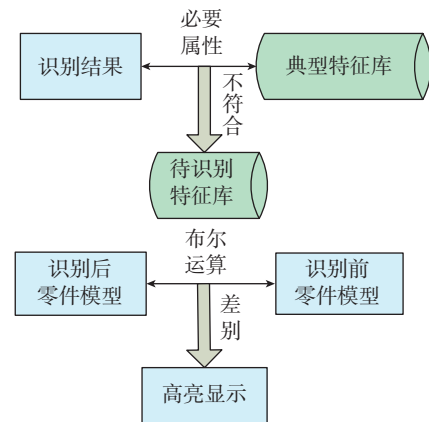


图2 识别结果自动评估算法流程图

Fig.2 Flow chart of recognition result automatic valuation algorithm

其中必要特征属性指的是某一特征必然要包含的属性。表2列出了典型特征的必要特征属性。

表2 典型特征必要属性

特征	槽	转角	孔	筋	轮廓
必要属性	顶面、侧面、腹板面	转角面、顶面、底面、侧面	孔侧壁、两顶面	筋顶面、侧面	主拓扑面

通过特征识别结果评估系统,可自动获得识别遗漏和错误的特征,为局部特征识别奠定基础。

#### 3.2 局部特征识别算法

由于基于局部特征的快速交互工艺决策中的特征识别只是针对零件局部的某些特征,因此称为局部特征识别。局部特征识别方法同整体识别有所不同,主要的区别如表3所示。基于局部特征的识别算法流程如图3所示。

## 4 快速交互工艺决策

在局部特征识别的基础上,局部工艺决策接受局部

表3 局部识别优点

不同点	局部特征识别	整体识别
识别模式	用户选择局部特征标识面,采用人机交互的方式,识别更加灵活	选择零件后,自动进行识别
输入不同	需进行识别的局部特征标识面	整个零件
识别方法	根据不同特征调用不同的特征识别规则,具有针对性	调用所有识别规则
属性面边图 <sup>[11]</sup>	采用局部再扩展属性面边图,处理速度快,效率高	整体再扩展属性面边图

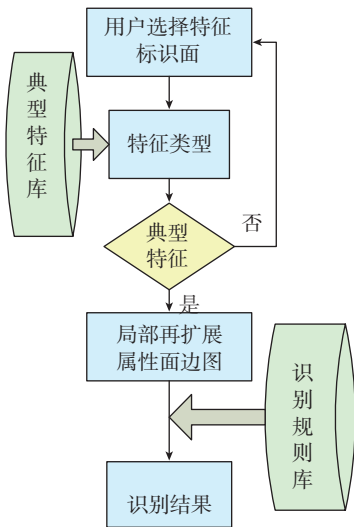


图3 局部特征识别算法流程图

Fig 3 Flow chart of part feature recognition algorithm

特征识别信息,进行高效的交互工艺决策。

#### 4.1 交互工艺决策流程

在局部特征识别结果的基础上,调用典型特征工艺知识库,建立局部特征工艺信息模型,通过人机交互的方式对模型进行修改,并将结果保存,扩充特征工艺知识库。具体的局部特征工艺决策流程如图4所示。

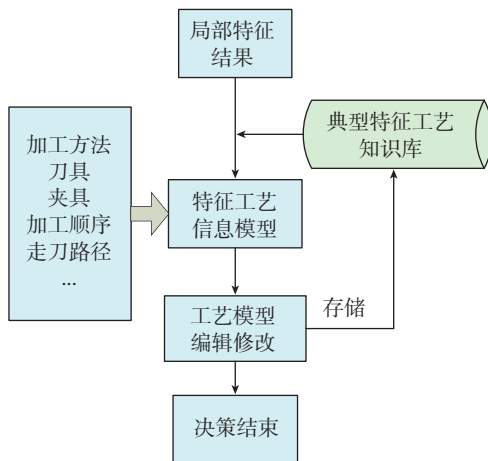


图4 基于局部特征进行交互工艺决策的流程

Fig.4 Flow chart of interactive process planning based on part feature

其中典型特征工艺知识库是基于特征建立的,同加工的关系更加紧密。有利于特征加工知识的积累和继承,同时针对不同特征调用不同的知识库,具有针对性,灵活方便。

特征工艺信息模型主要包含加工方法、刀具、夹具、加工顺序、走刀路径等需要进行工艺决策的内容。

局部特征工艺模型的修改是通过人机交互的方式进行,对局部特征的工艺模型进行修改。

#### 4.2 交互工艺决策内容

由于特征类型的多样性及其结构的复杂性,根据工艺知识库自动决策出的特征工艺信息模型有时无法满足加工的需要。

为了提高加工的质量,需要对工艺决策结果,进行人工交互编辑。主要的交互工艺决策内容有以下4点:

- (1) 加工特征排序。指的是特征加工的顺序。通过人机交互的手段,对局部特征进行排序。达到减少机床、刀具的更换次数,最大限度的减少走刀路径,减少资源浪费和提高加工效率的目标<sup>[12]</sup>。加工特征排序的依据主要有: a. 飞机结构件属于薄壁零件,为了提高零件的刚性,采用特征间隔加工; b. 为减少刀具的空行程,通常采用从零件中心往外螺旋形加工; c. 为减少换刀次数,应先完成零件的粗加工,再进行半精加工和精加工。
- (2) 刀具。刀具交互决策的内容有刀具半径和刀具长度。刀具长度必须大于加工的最大深度。刀具半径越大,切削量就越大,效率就越高。当刀具半径偏小,长度偏大时,刀具的刚性难以满足要求。此外,需根据零件材料选择刀具的材料。
- (3) 刀轨设置。刀轨在转角处要采用圆弧转接,减少由于切削力大小、方向的突变带来的影响。进退刀也要采用圆弧过渡,同时保证进退刀时刀具不发生碰撞。
- (4) 其他参数。除了以上参数需要交互外,还需要交互切宽、切深、公差、主轴转速等参数。

#### 4.3 基于局部特征的快速交互工艺决策优点

- (1) 基于局部特征的快速工艺决策技术采用交互方式进行决策,增加人的干预,充分发挥人员优势,提高了决策结果的可靠性,保证了正确率,同时减少了工艺员对决策结果查找的工作量,方便快捷。
- (2) 基于局部特征快速交互工艺决策技术具有开放性,特征工艺知识库可以被用来确定局部特征的工艺信息,也可以被修改扩充。
- (3) 基于局部特征的快速工艺决策技术适用于各种特征,尤其是特征 CAPP/CAM 系统工艺决策容易出现错误的特征和形状复杂,利用特征识别系统识别易出错的特征。
- (4) 基于局部特征的快速工艺决策技术可以解决部分特征排序的问题,针对有特殊加工顺序要求的特征,采用特征 CAPP/CAM 系统进行排序,查找特征需要花费大量时间,采用该方法可以根据需要,随意添

加到任何位置,提高了工作效率。

## 5 实例分析

本文以图 5 所示飞机典型框类零件槽特征的快速交互工艺决策为例来说明基于局部特征的快速交互工

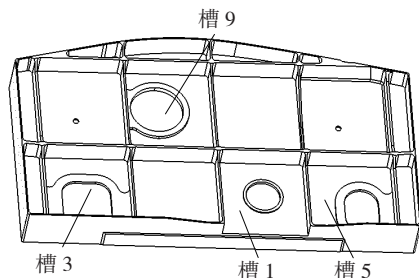


图5 飞机典型框类零件  
Fig.5 Aircraft frame part

艺决策技术。

具体步骤为:

(1) 运用识别结果自动评估系统获得需要进行局部识别的槽特征 1、3、5、9, 通过选择槽特征的标识面, 进行局部槽特征识别。用户可以对局部识别结果进行编辑修改。(2) 确认局部识别结果无误后, 进行自动工艺决策, 调用典型特征工艺知识库, 生成局部槽特征工艺信息模型。(3) 通过选择特征, 可以查看该特征工艺决策的各项参数, 包括切宽、切深、机床主轴转速和加工余量。以图中开口槽 1 为例, 切宽为 10mm, 切深为 3mm, 机床主轴转速为 20000r/min, 公差为 0.01mm。(4) 选择槽特征, 查看刀具信息, 包括刀具长度和半径, 根据对应槽特征的信息, 判断刀具选择的合理性, 并对刀具参数进行编辑修改。以图中开口槽 1 为例, 刀具工作长度为 60mm, 半径 20mm, 底角处半径 3mm, 开口槽深度 39mm, 转角半径 3mm。经过分析该刀具参数合理。(5) 刀具交互决策后, 对刀轨设置进行检查, 包括进退刀及走刀方式; 通过查看刀轨, 判断是否发生干涉。通过查看开口槽 1 的刀轨, 可以看出没有发生干涉的情况。(6)

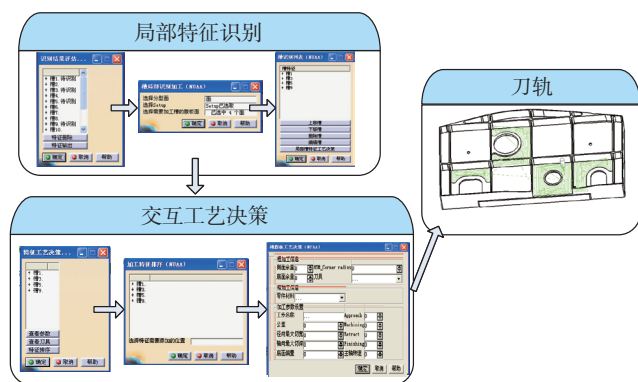


图6 实例分析  
Fig.6 Case analysis

依据加工特征排序规则, 运用人机交互方式对每一个槽特征进行排序, 使加工顺序合理。该例中的 1、3、5、9 槽的加工顺序是依据特征标识面选择的顺序产生的, 可以通过人机交互的方式确定槽特征在零件加工中的顺序。(7) 确认工艺信息模型无误后, 点击确定将槽特征工艺信息模型存入典型特征工艺知识库, 作为经验保留。

整个过程如图 6 所示。

## 6 结束语

本文针对基于特征的 CAPP/CAM 系统不可能完全自动工艺决策以及交互工艺决策效率低等问题, 采用基于局部特征的飞机结构件快速交互工艺决策方法, 开发了基于局部特征的交互工艺决策系统, 该系统在局部特征识别结果的基础上, 调用特征工艺知识库, 生成局部特征工艺信息模型, 并采用交互手段对工艺决策结果进行编辑修改。

实例应用表明该方法提高了工作效率, 同时扩大了基于特征的数控编程系统的应用范围。

## 参考文献

- [1] 姜澄宇, 王俊彪. 我国大型飞机研制中的关键制造技术. 航空制造技术, 2009(1): 28-31.
- [2] 闫海兵. 飞机结构件复杂加工特征识别技术 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.
- [3] Liu Z K, Wang L H. Sequencing of interacting prismatic machining features for process planning. Computer In Industry, 2007, 58: 295-303.
- [4] Shin J H, Cho H. Planning and sequencing heuristics for feature-based control of holonic machining equipment. The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 2001(13): 49-70.
- [5] Chang H C, Chen F F. A dynamic programming based process planning selection strategy considering utilization of machines. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2002(19): 97-105.
- [6] Hao Y T, Ma J Y. A knowledge-based auto-reasoning methodology in hole-machining process planning. Computer In Industry, 2006(57): 297-304.
- [7] 秦宝荣. 智能 CAPP 系统的键技术研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2003.
- [8] 李宁, 田锡天, 黄利江. 飞机结构件槽特征加工路径优化算法研究. 机械科学与技术, 2008, 27(10): 1253-1260.
- [9] 吴玉光, 高曙明, 陈子辰. 一种有效确定相交特征加工顺序的方法. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(10): 937-942.
- [10] 曹键, 王武军, 韩飞, 等. 基于局部特征的目标识别技术研究. 计算机工程, 2010, 36(10) 203-205.
- [11] 程少杰. 飞机结构件加工特征识别技术研究与实现 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.
- [12] 袁青, 李迎光, 王伟, 等. 基于遗传算法的飞机结构件加工特征排序. 机械科学与技术, 2011, 30 (1) 86-91.

(责编 小城)