

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2022.06.003

航空蒙皮类零件刻型特征自动识别提取与自动编程方法

钟柳春, 陈良昊, 朱志强*

(上海拓璞数控科技股份有限公司, 上海 201100)

摘要: 目前激光刻型技术在国内航空蒙皮类零件铣加工中已得到初步应用, 激光刻型的重要步骤之一是提取蒙皮零件的刻型线进行刻型编程。通过现有 CAD 软件的基础功能手动提取刻型线和编程, 无论效率或质量均已不能满足现代加工制造要求, 给后续工艺生产带来了巨大挑战。针对航空蒙皮类零件刻型线的自动提取和自动编程的需要, 提出一种基于蒙皮零件模型特征识别提取刻型线并自动生成刻型刀路的方法。首先通过计算与基准曲面平行的面提取出加工面, 组合加工碎面生成刻型面, 然后由刻型面提取轮廓线, 接着通过轮廓线在刻型面上平移的方式设置侵蚀余量并生成刻型线, 并离散刻型线生成刻型刀路。经由仿真示例测试方法的有效性和可行性。

关键词: 蒙皮零件; 特征识别; 激光刻型; 自动编程

中图分类号: TQ153

文献标识码: A

Automatic Recognition Extraction and Automatic Programming Method for Engraving Features of Aviation Skin Parts

ZHONG Liuchun, CHEN Lianghao, ZHU Zhiqiang*

(Shanghai TOP Numerical Control Technology Co., Ltd., Shanghai 201100, China)

Abstract: At present, laser engraving technology has been preliminarily applied in the chemical milling of aviation skin parts in China. One of the important steps of laser engraving is to extract the engraving line of skin parts for engraving programming. But manual extraction of engraving lines and programming through the basic functions of the existing CAD software cannot meet the requirements of modern manufacturing no matter efficiency or quality, which brings great challenges to subsequent process production. Aiming at the needs of automatic extraction and automatic programming of aviation skin parts, a method based on feature recognition of skin parts model is proposed to extract the profile line and generate the tool path automatically. Firstly, the machining surface is extracted by calculating the surface parallel to the reference surface, and the machined broken surface is combined to generate the engraving surface. Then, the profile line is extracted from the engraving surface and the etching amount is set and the engraving line is generated by the translation of the profile line on the engraving surface. Finally, tool path is generated by discrete the engraving line. The validity and feasibility of the method were tested through examples.

Keywords: skin parts; feature recognition; laser engraving; automatic programming

刻型是蒙皮类零件刻型加工中的重要环节, 刻型的质量直接关系到蒙皮零件的加工质量和精度。

收稿日期: 2022-02-15

修回日期: 2022-03-08

作者简介: 钟柳春(1987—), 女, 硕士, email: zhongliuchun@topnc.com.cn

通信作者: 朱志强(1990—), 男, 硕士, email: zhuzhiqiang@topnc.com.cn

目前空客、波音、达索等国外先进航空制造企业,已将激光刻型技术应用到了蒙皮类零件的化铣生产中,国内航空企业也引进了激光刻型设备,且在部分蒙皮零件化铣工艺中实现了激光刻型技术代替传统的手工刻型^[1]。

虽然激光刻型相对于传统手工刻型优势明显,但对数控编程提出了较高要求。工艺人员手动提取刻型线并编程操作繁琐、消耗时间长、容易出错。通过开发一套能够实现刻型线自动提取和刻型刀路自动生成的软件系统,将可解决目前手动操作带来的效率和质量问题。

要实现自动提取刻型线,首先要对蒙皮零件进行特征识别,将需要化铣的区域特征识别出来。特征识别思想产生于20世纪70年代,是一种从零件的实体模型中抽取具有特定工程意义的形状特征的方法^[2],经过了30多年的研究,特征识别技术的研究已经取得了一些显著的成果,涌现出基于规则方法^[3]、基于图方法^[4]、基于神经网络方法等多种特征识别方法^[5]。近些年,为实现特征的个性化定义,学者们对通用的特征识别方法展开了一些探索。Wang Q和Yu X^[6]提出了一种基于实体模型的特征识别框架,其中框架由将零件step数据转换为边界表示的编译器和特征库构成,特征表示由集体属性、个体属性和关系构成^[7]。然而现有方法主要面向机械加工的常规特征,难以识别富含曲面的复杂特征,且蒙皮零件模型在设计过程中由于曲率变化、格式转换等问题产成了许多碎面,且包含大量相交特征,为

特征识别增加了难度^[8]。

在前人研究的基础之上,结合实际生产情况,针对蒙皮类零件,本文提出了一种基于基准面的蒙皮类零件特征识别方法,通过CATIA_CAA二次开发平台,配合判断相切连续的碎面组合、曲线偏置、基于弦高的曲线离散生成刀路、模拟退火算法对刀路排序,实现了自动提取刻型线和刻型线自动刀路编程。结合示例,验证了算法的有效性和可行性。

1 特征识别

1.1 蒙皮零件特征识别技术难点

蒙皮零件模型从结构的角度可以看作下陷特征、孔类特征、窗类特征等关键特征的组合,在化铣工艺中需要识别下陷特征作为加工面,而要识别下陷特征主要有以下难点:

(1) 碎面问题

碎面是由于曲率变化、不规范建模、跨平台格式转换等因素造成的,如图1(b),碎面将完整的特征拆分成多个特征,增加了拓扑的复杂性,提高了特征识别的难度。

(2) 相交特征问题

相交特征是特征识别中一个公认的难题,而包含自由曲面的相交特征更加困难,同时,加上碎面问题又使得不能用内环或外环来简单判断是否属于相交特征,使问题更加复杂,蒙皮零件上绝大多数加工面轮廓都属于相交特征,如图1(c)所示。

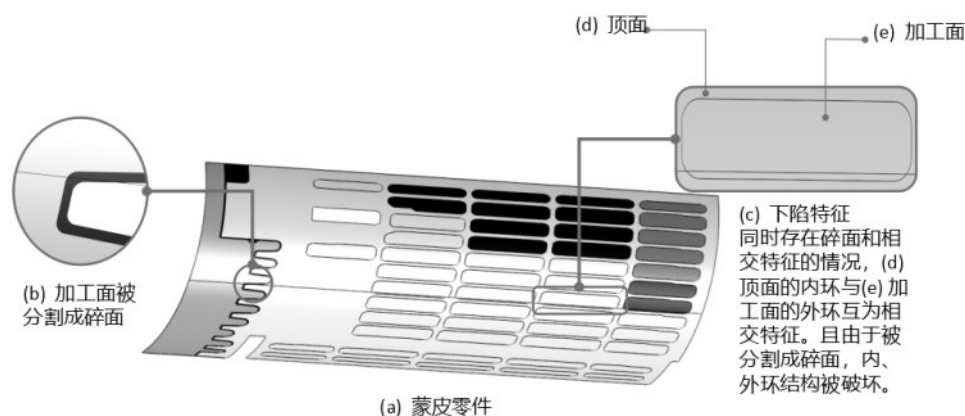


图1 蒙皮零件模型

Fig.1 Model of skin parts

1.2. 基于基准曲面的蒙皮特征识别方法

下陷特征是蒙皮零件数量最多的特征,特征识

别的目标就是将下陷特征中的加工面自动提取出来如图2,其中倒角面不属于加工面,需要剔除。

根据调研,可以认为蒙皮零件的下陷特征等厚,即每个加工面上的每个点到毛胚背面或正面的距离近似相等,也就是加工面应当平行于毛胚背面或正面。这样我们设毛胚背面或正面为基准曲面,通过判断蒙皮零件模型上的面与基准面的平行关系来提取蒙皮的加工面,然后就可以组合加工碎面生成需要的刻型面,根据以上理论,设计出特征识别程序流程,如图3。

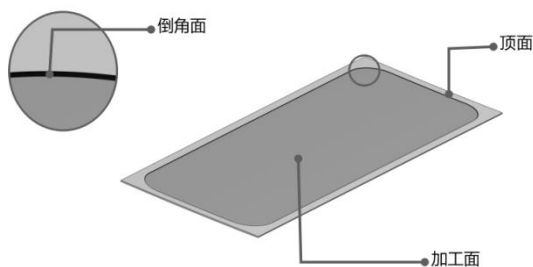


图2 下陷特征

Fig.2 Caving feature

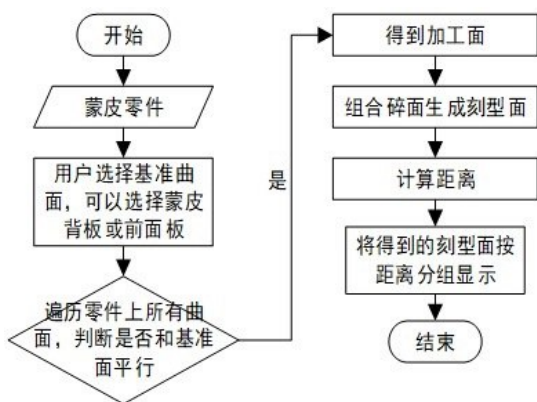


图3 计算流程

Fig.3 Calculation procedure

流程的关键在于如何判断两个面是否平行以及组合碎面。

(1) 判断平行面

如图4,取待查面的中心位置点P1,计算P1在待查面上的法向量P1_Normal,将P1投影到基准面,得到P2,计算P2在基准面上的投影P2_Normal,如果 $P1_Normal // P2_Normal$,则认为两曲面平行,P1与P2的距离distance就是该面的厚度。

(2) 组合的碎面

取待查面cSurface,递归计算与cSurface切线连续^[9]的面集合List Group Surface,组成新面New

Surface,如图5,最后按厚度或深度分组对加工面进行排序显示,如图6。

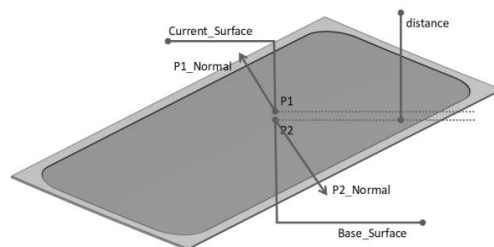


图4 判断平行面

Fig.4 Judgment of the parallel surface

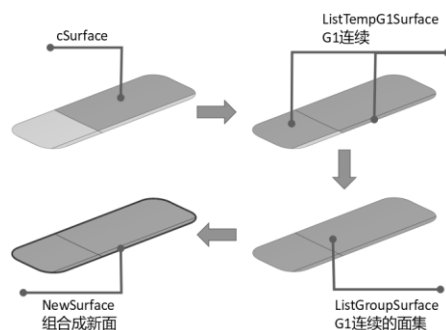


图5 组合碎面

Fig.5 Combined broken surface

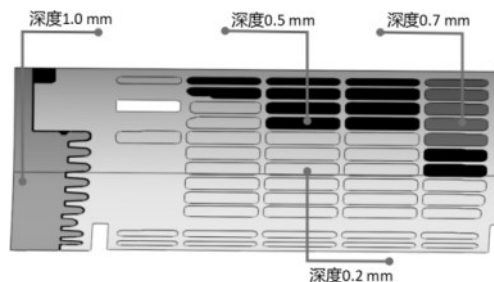


图6 按深度分组显示

Fig.6 Display by depth

2 提取刻型线并生成编程刀路

2.1 程序流程

本文设计的提取刻型线并生成编程刀路程序流程,如图7。

2.2 提取刻型线

由于化学铣切的特殊性,需要将加工面的外轮廓线向内偏置一个浸蚀余量才能得到需要的刻型轮廓线^[10],参考参数曲线等距偏置方法^[11-13]得到结果,如图8。

2.3 基于弦高的离散刻型线生成刀路

刀路轨迹由一个一个点位连接而成,在规划刀

路轨迹时,加工轨迹过渡应当尽量圆滑,即在曲率变化大的地方点位应当密集,而曲率变化不大的地方,点位可以稀疏^[14-15]。

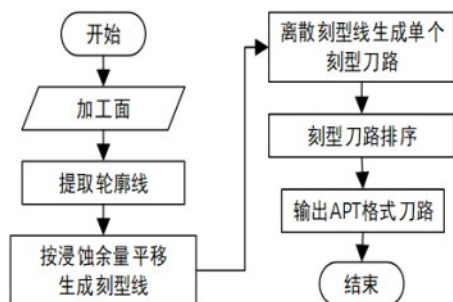


图7 自动编程流程

Fig.7 Process of automatic programming

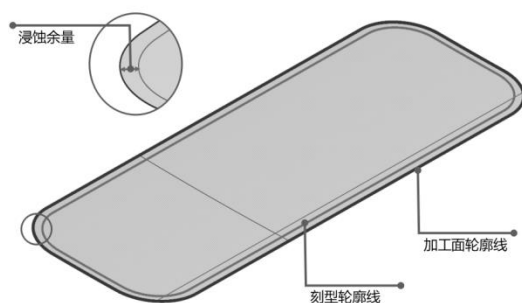


图8 提取刻型线

Fig.8 Extraction of the engraving lines

在离散刻型线时,通过控制弦高 h 的最大值,来保证刀路轨迹尽可能圆滑过渡并贴近理论线,如图9,当弦高 h 大于设定值时,继续向下离散,直到弦高 h 小于设定值^[16],最终效果如图10。

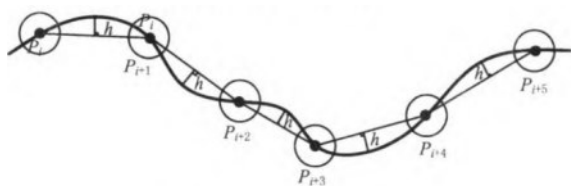


图9 曲线离散

Fig.9 Curve discrete

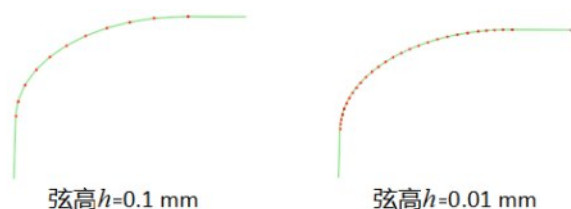


图10 弦高与离散

Fig.10 Sag and discrete

2.4 刻型刀路排序

在刻型刀路生成后,需要对刻型刀路进行排序,即保证刀路尽量不交叉且经过的路径最短,这是一个典型的旅行商问题(Travelling Salesman Problem, TSP),这里使用模拟退火算法对刻型刀路排序^[17-19],用刀路仿真软件CIMCO查看最终效果如图11。

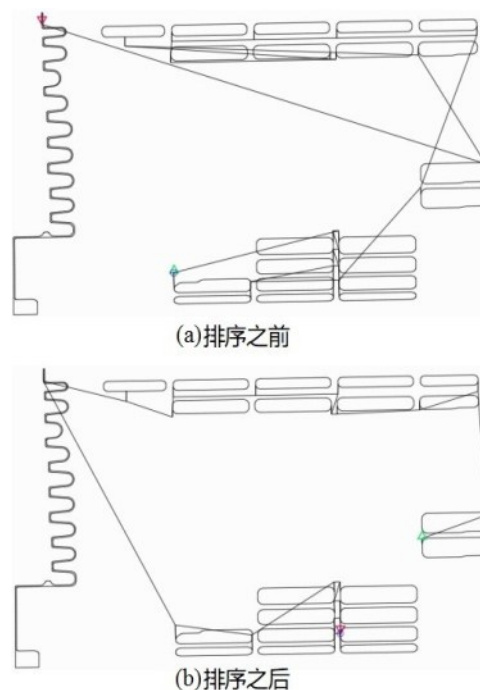


图11 模拟退火算法排序

Fig.11 Sorting by simulated annealing arithmetic

2.5 刀路仿真

在实际加工生产之前,需要对加工刀路进行刀路仿真,以验证刀路的正确性,这里使用深度为0.5 mm的刻型刀路在Vericut软件中进行仿真,为了方便展示,加大了刻线宽度,实际刻线宽度应小于0.2 mm,仿真结果如图12。

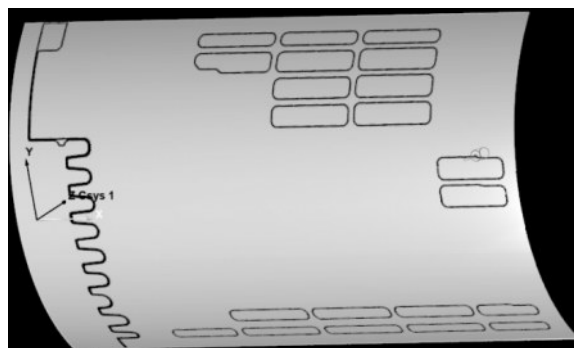


图12 仿真验证

Fig.12 Simulation and verification

2.6 方案验证

本方案在虚拟机上单次计算时长30 s以内,对比人工操作大大提升了工作效率,同时对比另一方案单次计算需要3 min^[20],本方案计算速度显著提高,经过仿真示例验证了方案程序的可行性。

3 结论

本文利用基于基准曲面的特征识别算法,并结合曲面切向连续判断组合碎面提取刻型面;再利用曲线偏置方法提取出刻型轮廓线,并通过基于弦高的曲线离散算法将刻型轮廓自动编程生成刻型刀路,最后通过模拟退火算法对刻型刀路排列组合,使其经过的路径最短且尽量无相交,最终达到了自动提取刻型线并自动编程的效果。

参考文献

- [1] 殷世坤,郭岩,解二伟,等. 化铣生产中激光刻型技术的应用优势探讨[J]. 电镀与精饰, 2021, 43(3): 32-36.
- [2] 鲁泳,李迎光. 基于再扩展属性面边图的复杂结构件特征识别技术[J]. 机械设计与制造, 2009, 7(5): 236-242.
- [3] Henderson M R, Anderson D C. Computer recognition and extraction of form features: a CAD/CAM link[J]. Computers in Industry, 1984, 5(4): 329-339.
- [4] Joshi S, Chang T C. Graph-based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model[J]. Computer-Aided Design, 1988, 20(2): 58-66.
- [5] Prabhakar S, Henderson M R. Automatic form-feature recognition using neural-network-based techniques on boundary representations of solid models[J]. Computer-Aided Design, 1992, 24(7): 381-393.
- [6] Wang Q, Yu X. Ontology based automatic feature recognition framework[J]. Computers in Industry, 2014, 65(7): 1041-1052.
- [7] 汤志鸿,郑国磊,郑艺玮. 飞机框肋类零件基础特征自动识别与提取算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2019, 45(4): 811-820.
- [8] 胡敏,向兵飞,李迎光,等. 基于特征的快速编程技术在飞机蒙皮工件中的应用[J]. 制造技术与机床, 2016(1): 148-152.
- [9] 车翔玖,梁学章. 两邻接B样条曲面的G~1连续条件[J]. 应用数学, 2004, 3: 410-416.
- [10] 孙新,张政斌,陈素明. 激光刻型技术在铝合金化学铣切中的应用[J]. 科技传播, 2016, 8(11): 227-228.
- [11] 江平,王珺. Said-Bézier曲线的等距曲线的有理逼近[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 11: 1494-1499.
- [12] 王小平,周宇,刘付国. 三角网格面自动铺丝定角度路径规划算法[J]. 南京航空航天大学学报, 2020, 52(3): 378-387.
- [13] 徐金亭,刘伟军,卞宏友,等. 基于网格曲面模型的等残留刀位轨迹生成方法[J]. 机械工程学报, 2010, 46(11): 193-198.
- [14] 许都,秦衡峰,周后明. 基于三角网格曲面映射的数控高速加工刀轨规划[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(10): 2371-2379.
- [15] Xu J, Sun Y, Wang S. Tool path generation by offsetting curves on polyhedral surfaces based on mesh flattening[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 64(9): 1201-1212.
- [16] 牛文钦,胡德计,徐燕申,等. 数控加工中定曲线方程轮廓的等弦高误差拟合算法研究[J]. 制造业自动化, 2001, 8(9): 7-10.
- [17] 陈科胜,鲜思东,郭鹏. 求解旅行商问题的自适应升温模拟退火算法[J]. 控制理论与应用, 2021, 38(2): 245-254.
- [18] 齐安智. 一种基于改进模拟退火算法的TSP问题的应用研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2020, 32(3): 32-34.
- [19] 余智勇,庄健敏,翟旭平. 基于改进的TSP模型和模拟退火算法路径规划研究[J]. 工业控制计算机, 2018, 31(2): 56-57.
- [20] 周鑫. 基于特征的飞机蒙皮数控编程技术[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2015.