

基于微粒群的数控加工路径优化方法研究

Research on Machining Path Optimization Method Based on Improved Particle Swarm

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 杜宝瑞 沈力华 王碧玲

[摘要] 在飞机结构件数控加工过程中,如何减少空程,实现数控加工路径的优化是数控编程急需解决的关键问题,直接影响数控加工效率。文章针对飞机结构件数控加工路径优化方法进行研究,提出一种改进的微粒群优化方法,并利用所提方法实现转角加工路径的优化,代替了人工随机确定转角加工路径的方法。文章最后利用所提方法对典型飞机结构件转角加工路径进行优化,仿真结果表明,针对数控加工路径优化问题,所提方法远远优于传统微粒群方法。

关键词: 飞机结构件 数控加工 转角加工 微粒群 路径优化

[ABSTRACT] In the CNC machining of aircraft structural parts, CNC machining path planning is the key problem to the CNC program, which directly affects the efficiency of CNC machining. Instead of randomly determining artificial methods to achieve the corner of the machining path, the CNC machining path optimization method is focused on, and the improved swarm optimization is proposed, which is used for the optimization of angle machining path. Finally, using the proposed method for the path optimization of typical aircraft structural parts corner machining, the simulation results show that the proposed method is much better than the traditional PSO in the path optimization of CNC machining.

Keywords: Aircraft structural part CNC machining Corner machining Particle swarm optimization(PSO) Optimal path

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.15.050

飞机结构件尺寸大、加工特征多,如何通过优化方法实现对飞机结构件数控加工路径优化显得尤为重要。目前,数控程序的编制大多仍采用人机交互方式实现,对于数控加工路径规划往往采用人工经验制定,这不但浪费人力,延长了生产准备周期,而且如果规划不当,将严重影响数控加工效率。随着飞机制造业的快速发展,高速、高质量研制已成为必然的趋势,传统人工制定加工路径的方法已不能满足实际生产需要,因此,飞机结

构件数控加工自动优化技术受到越来越多学者的关注。目前,基于遗传算法、模拟退火算法、蚁群算法的飞机结构件加工路径优化方法已出现较多研究成果^[1-2],但上述方法只是针对特定加工工序或工步进行局部优化。本文提出的基于微粒群的数控加工路径优化方法是一种整体路径规划方法,以加工路径长度最小为目标,确定加工路径轨迹。同时,由于微粒群算法与其他优化算法相比,收敛速度快,编程简单,易于推广使用。因此,采用以微粒群算法为基础,对传统 PSO 进行改进,提出一种改进的微粒群方法,并采用所提方法对飞机结构件数控加工路径进行优化,仿真计算结果证明本方法切实可行。

1 微粒群的数控加工路径优化

1.1 模型的建立

微粒群算法(PSO)是由 Kennedy 和 Eberhart 等于 1995 年开发的一种演化计算技术,来源于对一个简化社会模型的模拟。由于 PSO 算法概念简单,实现容易,短短几年时间,PSO 算法便获得了很大的发展^[3],并在很多领域得到应用,如在烧结矿配料优化中的应用^[4],在案例推理(CBR)方面的应用等^[5]。PSO 算法与其他进化类算法相似,也是采用“群体”和“进化”的概念,同样也是根据粒子对环境的适应值大小进行操作,所不同的是,微粒群算法不像其他进化算法那样对个体使用进化算子,而是将每个个体看作是在 n 维搜索空间中的一个没有重量和体积的微粒,并在搜索空间中以一定的速度飞行。该飞行速度由个体的飞行经验和群体的飞行经验进行动态调整^[6-8]。

设第 i 个微粒当前位置为

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$$

它经历过的最好位置(有最好的适应值)记为

$$P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in})$$

也称为 p_{best} 。在群体中,所有微粒经历过的最好位置的索引号用符号 g 表示,即 p_g ,也称为 g_{best} 。微粒 i 的当前速度为

$$V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$$

对第 i 个粒子,其第 j 维($1 \leq j \leq n$)速度 $v_{ij}(t+1)$ 和位

置 $x_{ij}(t+1)$ 根据如下方程变化:

$$v_{ij}(t+1) = wv_{ij}(t) + c_1r_{1j}(t)(p_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + c_2r_{2j}(t)(p_{gj}(t) - x_{ij}(t)) \quad (1)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (2)$$

上式中, w 为惯性权重, c_1 和 c_2 为加速常数, $r_{1j}(t)$ 和 $r_{2j}(t)$ 是两个在 $[0,1]$ 范围内变化的随机函数。 $p_{ij}(t)$ 为第 i 个粒子经历的最好位置向量的第 j 维。

基于微粒群算法求取最优路径的具体流程:

(1) 初始化一群微粒的随机位置和随机速度, 设群体规模为 k ;

(2) 每个微粒在 n (此处 n 为转角特征总数) 维空间搜索, 若第 i 个微粒当前位置为 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$, 则对组成 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ 的 n 维数组的 n 个元素进行排序, 并记录其下标变化情况, 从而实现数控加工路径的调整;

(3) 对每个微粒, 将其适应值与全局所经历的最好位置 g_{best} 做比较, 如果较好, 则重新设置 g_{best} 的索引号;

(4) 根据公式 (1) 和 (2) 变化微粒的位置以及速度, 变化后通过流程 (3) 计算获得微粒适应度;

(5) 若未达到结束条件 (通常采用设定最大迭代次数, 如: D_{max}), 则继续上一步循环, 直至满足结束条件为止。

传统 PSO 算法虽然概念简单, 实现容易, 易于推广, 且收敛速度快, 但其算法精度较低。

因此, 针对数控加工路径优化问题, 本文提出一种改进的微粒群优化方法。以转角加工路径优化为例, 首先确定数控加工路径优化目标函数, 根据待加工转角数量确定种群规模; 再对于每一个粒子, 计算其优化路径解; 最终, 比较各微粒的适应值, 选取适应值最小的微粒作为最优解。通过与传统微粒群方法比较, 可以发现, 所提方法确定的数控加工路径远远优于传统方法。

1.2 目标函数的确定

由于飞机结构件转角特征数量大, 是飞机结构件主要特征之一, 因此, 以飞机结构件转角为例。

假设: 某飞机结构件共有 m 个转角需进行加工, 第 i 个转角特征中心点坐标为 (x_i, y_i, z_i) , 则加工完第 i 个转角特征后, 下一个被加工的转角对象标记为第 $i+1$ 个转角, 其中心点坐标为 $(x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$, 则基于微粒群方法的数控加工路径优化的目标函数为:

$$\sum_{i=1}^{m-1} ((x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2) \quad (3)$$

优化的最终目标即为, 加工所有转角特征的路径长度之和为最小值。

1.3 改进的微粒群方法求最优路径的过程

已知有 m 个转角需进行加工, 在 $1 \sim m$ 间随机选取 m 个不同的整数, 即对 $1 \sim m$ 的 m 个整数进行随机排序, 得到一组数组, 记为: $[m_{11}, m_{21}, \dots, m_{n1}, \dots, m_{(m-1)1}, m_{m1}]$, 此时, 确定了每条路径的起始位置, 即 m 个微粒的起始元素, 根据距离最小原则确定第 i 个微粒的第 j 个元素的下一个元素:

$d(ik) = |m_{ij} - m_{ik}|$, $|m_{ij} - m_{ik}|$ 表示第 i 个微粒的第 j 个元素 (转角) 与第 k 个元素 (转角) 间的距离, 即两转角间的距离。需同时满足, 最小且第 k 个元素 (转角) 未被选取 (加工) 过, 则选取第 k 个元素 (转角) 作为第 i 个微粒的第 j 个元素的下一个元素, 即选取距离最近的转角作为下一个加工的转角。以此类推, 确定出每一个微粒的完整元素, 即完整路径。对于第 i 个微粒, 根据公式 (1) 计算其适应值 m_{ij} , 得到每个微粒确定的路径长度数组 $[m_{1j}, m_{2j}, \dots, m_{nj}, m_{mj}]$ 。选取适应值最小的 l 个微粒确定的路径作为候选优化路径, 根据专家经验选取最优初始位置及其对应的优化路径, 从而得到数控加工路径最优解。本方法主要流程如图 1 所示。

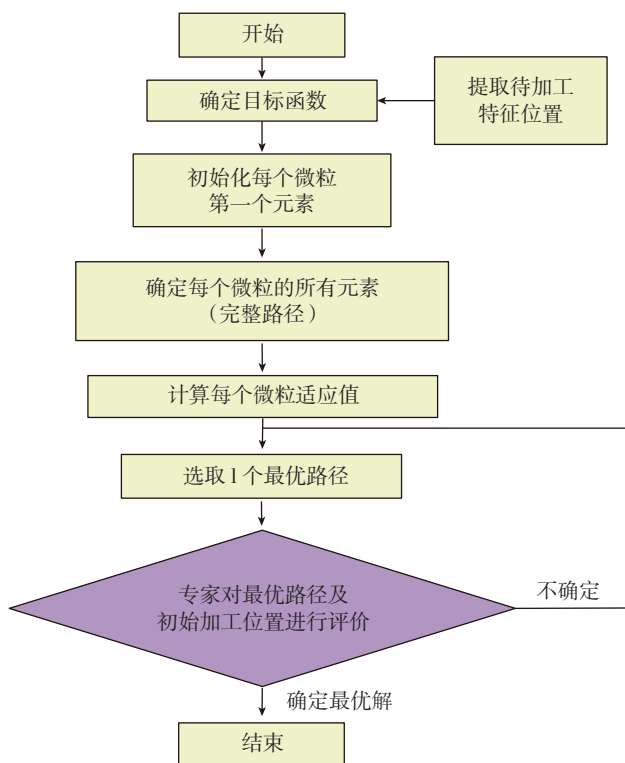


图1 所提方法流程图

Fig.1 Flowchart of proposed method

2 应用实例

飞机结构件的典型特征之一即为转角, 转角加工是飞机结构件数控加工的重要组成部分, 如何快速有效地实现飞机结构件转角加工, 对于提高飞机结构件整体加

工效率具有重要意义。因此,本实例以飞机结构件转角加工作为应用研究对象,通过微粒群方法实现对转角加工路径的优化,在一定程度上节省了人工规划转角加工路径的时间,同时也提高了数控加工效率。以某典型飞机结构件为例,该结构件每个槽特征周围有4个转角特征,其共有264个转角,如采用人工方法确定加工路径,工作量大,且很难寻找到最优路径,因此,需采用智能优化方法对加工路径进行优化。

首先采用传统微粒群方法寻找最优路径,根据上述所提方法,目标函数同样为公式(3),初始化一群微粒的随机位置和随机速度,参数设置为:群体规模 k 设为20, w 设为0.5298, c_1 、 c_2 均设为2.4962,最大迭代次数 D_{max} 设为1500。采用matlab软件对上述各步进行程序仿真。将加工路径映射到 xy 平面,得到如图2所示的优化路径解。

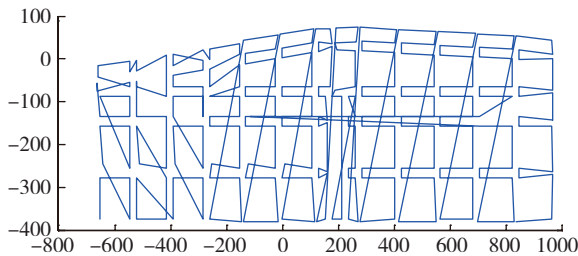


图2 传统PSO优化路径解
Fig.2 Optimal path solution of traditional PSO

根据所提方法,仍采用公式(3)为优化目标函数,初始化264个微粒,并逐步找出每个微粒的完整路径,最终确定的每一个微粒的路径长度如图3所示,在确定的264个优化路径中选取最短的 l 个路径作为候选路径,最终,根据专家意见确定最优路径及其对应的初始加工位置。在本例中,选取路径最短的1个作为最优路径值,其优化路径解如图4所示。通过对比图2和图4结果可以看出,本文所提方法得到的数控加工路径远远优于传统微粒群方法确定的优化路径解,试验结果证明了所提方法的真实有效性。

3 结论

由于传统人工制定数控加工路径的方法耗时较多,且对于大型飞机结构件难以通过人工形式找到最优路径,因此,针对上述问题,本文重点对飞机结构件数控加工路径优化方法进行研究,通过确定优化目标函数,对各微粒进行初始化,再利用改进的微粒群方法求取数控加工路径最优解,最终,将该方法应用于飞机结构件转角加工路径优化过程中,代替了人工经验确定数控加工路径方法,节省了人力,同时也有利于提高

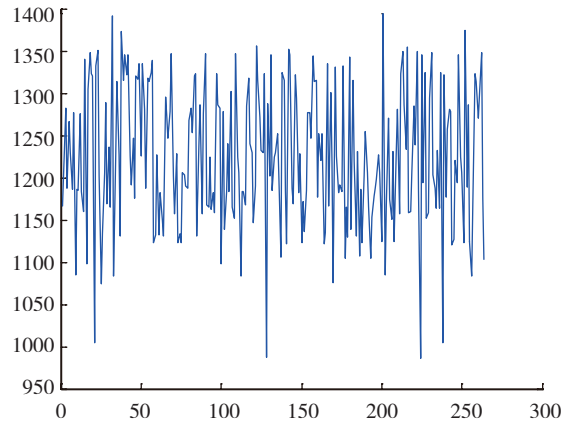


图3 各微粒优化路径长度值
Fig.3 Optimal path length of each particle

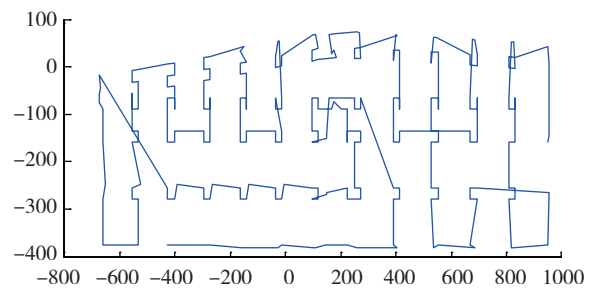


图4 所提方法优化路径解
Fig.4 Optimal path solution of proposed method

数控加工效率,试验结果表明,本文方法确定的数控加工路径远远优于传统微粒群方法,该方法是切实可行的。

参考文献

- [1] 袁青,李迎光,王伟.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.
- [2] 李宁,田锡天,黄利江等.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.
- [3] 谢晓峰,张文俊,杨之廉.微粒群算法综述.控制与决策,2003,18(2):129-134.
- [4] 吴敏,丁雷,曹卫华.基于混合粒子群算法的烧结配料优化.信息与控制,2008,37(2):242-246.
- [5] 韩敏,沈力华.基于微粒群的案例推理方法研究.控制与决策,2011,26(4):637-640.
- [6] 李军军,肖健梅,王锡淮.一种精英退火微粒群算法.控制与决策,2008,23(7):756-761.
- [7] Trelea I C. The particleswarm optimizational gorithm:Convergence analysis and parameter selection. Information Processing Letters, 2003, 85:317-325.
- [8] Clerc M, Kennedy J. The particle swarm: Explosion, stability and convergence in a multi-dimensional complex space. IEEE J of Evolutionary Computation, 2001, 6(1):58-72.

(责编 玲犀)