

CAD/CAM 集成系统中孔加工刀具路径的优化

Optimization of Tool Path for Hole Manufacturing in CAD/CAM System

田美丽^① 张冠伟^② 袁名伟^①

(^①天津职业技术师范学院 ^②天津大学机械学院)

摘 要 研究了 CAD/CAM 集成系统中孔加工刀具路径的优化问题,利用图论中“旅行商问题”的数学模型,采用启发式搜索算法,对加工中心上多孔加工刀具路径进行了优化。实现了 CAD/CAM 多特征加工的点位最优化,使加工路径最短,缩短了空走刀时间,从而大大提高了加工效率。

关键词 CAD/CAM 点位优化 加工中心 旅行商问题

在 CAD/CAM 集成系统中,CAM 生成的特征加工顺序由 CAD 的造型顺序决定,而设计人员往往不考虑加工顺序的最优化。特别是在加工中心上加工时,经常会遇到在相同的加工方位上有很多孔需要加工,如果在生成数控代码的过程中,对特征加工的点位进行优化,则可以缩短空走刀时间,提高加工效率。笔者采用启发式搜索算法,来进行刀具走刀路径的优化。

1 优化数学模型描述

特征加工点位优化的数学模型是图论中的旅行商问题。旅行商问题(traveling salesman problem,TSP)是:一个商人欲到 n 个城市售货,每两个城市 i 和 j 之间的距离为 d_{ij} ,如何选择路线,使商人经过每个城市一次且仅一次,并且所走路径最短。TSP 基于图论的数学模型为^[2]

$$\min \sum_{i \neq j} d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in s} x_{ij} \leq |s| - 1, 2 \leq |s| \leq n - 2, s \subset \{1, 2, \dots, n\}, \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j \quad (5)$$

式(5)中 $x_{ij} = 1$ 表示商人选择从城市 i 到城市 j 的路线, $x_{ij} = 0$ 表示商人不选择这条路线;式(2)(3)要求商人从 i 城市出入城市 j 只有一次;式(4)约束商人在任何一个城市子集中不形成圈。

设 $D = [d_{ij}]$ 是城市距离的邻接矩阵,表示城市 i 和 j 之间距离的元素 d_{ij} 有以下特征:①非负性, $d_{ij} \geq 0$; $1 \leq i, j \leq n$;②对称性, $d_{ij} = d_{ji}$;③对角线元素为 0, $d_{ii} = 0$;④任意三个元素满足三角不等式, $d_{ij} + d_{jk} \geq d_{ik}, 1$

$$\leq i, j, k \leq n.$$

2 启发式算法的评价函数和启发信息

2.1 启发式算法的评价函数

与被解问题的某些特征有关的控制信息(如解的出现规律及其结构特征等)称为搜索的启发信息,启发信息反映在评价函数中。评价函数的作用是估计待扩展各节点在问题求解中的价值。在图搜索中,启发信息的数值表示为从当前节点到目标节点的代价。一个节点的价值包括两部分:已经付出的代价和将要付出的代价。评价函数 $f(n)$ 可定义为^[3]:

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (6)$$

式中: $f(n)$ 是节点 n 的评价函数; $g(n)$ 是在状态空间中从初始节点到 n 节点的实际代价; $h(n)$ 是从 n 到目标节点最佳路径的估计代价,体现搜索的启发信息。

定义 $f^*(n)$ 是从起始节点经过节点 n 到达目标节点的所有路径中的最小代价。 $f(n)$ 是 $f^*(n)$ 的估计值, $f^*(n)$ 可表示为

$$f^*(n) = g^*(n) + h^*(n) \quad (7)$$

式中: $g^*(n)$ 是起点到 n 节点的最短路径值, $h^*(n)$ 是 n 到目标节点的最佳路径的启发值。

2.2 启发信息的确定

使用启发式搜索算法,可以解决同一平面上孔特征加工点位的刀具路径优化问题。以对刀点为搜索的起始节点,利用评价函数式(6)可以减小搜索空间。其中函数 g 的值是已经构造出来的旅程的代价,用于估计后续距离的启发函数 h ,可以通过未被访问的特征加工点位的最小生成树来计算。

2.3 最小生成树的数学模型

最小生成树(Minimum Spanning Tree, MST)的数学

描述为: 对于一个无向图 $G=(V,E)$, 其中 $V=\{v_1, v_2 \dots v_n\}$ 为有限节点集, $E=\{e_{ij} | e_{ij}=(v_i, v_j), v_i, v_j \in V\}$ 表示节点间连线的有限边集, 每一条边有一个记为 $W=\{w_{ij} | w_{ij}=u(v_i, v_j), w_{ij}>0, v_i, v_j \in V\}$ 的正实数的权重. 生成树是连接 V 中所有节点的来自 E 的最小边集. 最小生成树记为 T^* , 可表示为

$$T^* = \min_{T \in E} \sum w_{ij} \tag{8}$$

式中: T 为图 G 生成树的集合.

2.4 最小生成树算法

常用的最小生成树算法包括 Kruskal 算法、Prim 算法、Sollin 算法等. 其中 Kruskal 算法是由 Kruskal 于 1956 年提出的, 基本思想是每次将一条权 $w(e)$ 最小的边 e 加入到子图 T 中, 并保证不形成圈. 以 n 表示节点的个数, m 表示边的个数, 具体算法如下: ①把 G 的边按照权由小到大的顺序排列, 即 $w(e_1) \leq w(e_2) \leq \dots \leq w(e_m)$; ②令 $i=1, j=0, T=\Phi$; ③判断 $T \cup e_i$ 是否含圈, 若含圈转向③, 否则转向④; ③令 $i=i+1$, 若 $i \leq m$, 转向②, 否则结束. 此时 G 不连通, 没有最小树; ④令 $T \cup e_i, j=j+1$, 若 $j=n-1$, 结束, T 是最小树, 否则转向②.

3 走刀路径的启发式算法

如图 1 所示为走刀路径的启发式算法的 N-S 结

输入孔的位置坐标, 刀具起点坐标 S
计算孔特征间的距离, 写入邻接矩阵
将 S 放入 CLOSED 表中, 其余 N 个节点放入 OPEN 表中
$N > 1$
从当前节点展开 N 个子旅程
$i = 1$
$i \leq N$
逐个计算每个子旅程的代价函数 $f = g + h$
$i = i + 1$
按 f 值, 对 OPEN 表中的节点由小到大排序
将 OPEN 表中具有最小 f 值的节点放入 CLOSED 表中
$N = N - 1$
将 OPEN 表中的节点放入 CLOSED 表中

构流程图.

4 走刀路径优化实例

在进行多个孔特征加工时, 按照刀具走刀的路径最短为优化目标, 以缩短走刀的时间, 采用启发式搜索算法可以解决这一问题. 在优化之前, 首先要确定需要进行走刀路径优化的孔特征所在位置点的坐标, 计算出孔特征之间的距离, 写入邻接矩阵. 优化后得到一条封闭路径, 可以将整条路径中最长的路径去掉, 生成非封闭的最短走刀路径. 图 2 为汽车发动机汽缸体上经过优化后的孔加工刀具走刀路径.

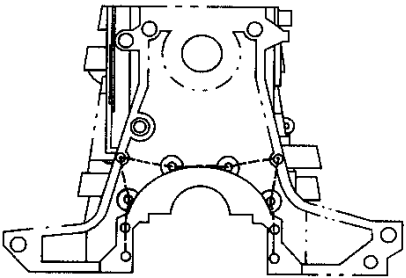


图 2 优化后的走刀路径

5 结语

本文主要探讨了以最短走刀路径为目标的 CAD/CAM 集成系统中孔加工刀具路径的优化问题, 结合旅行商问题的数学模型描述, 给出了孔加工最短走刀路径启发式算法. 最后以汽车发动机汽缸体为例进行了实际验证.

参 考 文 献

- 1 梁吉元等. CAM 系统中孔加工路径的优化处理. 计算机集成制造系统 2000(2)
- 2 谢金星, 刑文训. 网络优化. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- 3 蔡自兴, 徐光祐编. 人工智能及其应用. 北京: 清华大学出版社, 1996.
- 4 张冠伟. 基于分层工艺规划的柔性生产线方案设计技术研究. 天津大学博士论文, 2001.

第一作者: 田美丽, 天津职业技术师范学院, 邮编: 300222

(编辑 徐洁兰)
(收稿日期 2002-07-17)

· 迁址通知 ·

英国机床工业协会北京代表处现已迁至:
北京阜外大街 1 号四川大厦东楼 2805 房间, 电话 (010) 68364725, 传真 (010) 68364727.

作者: 田美丽, 张冠伟, 袁名伟
作者单位: 田美丽, 袁名伟(天津职业技术师范学院), 张冠伟(天津大学机械学院)
刊名: 制造技术与机床 
英文刊名: MANUFACTURING TECHNOLOGY & MACHINE TOOL
年, 卷(期): 2002(10)
被引用次数: 1次

参考文献(4条)

1. 张冠伟 基于分层工艺规划的柔性生产线方案设计技术研究[学位论文] 2001
2. 蔡自兴;徐光 人工智能及其应用 1996
3. 谢金星;刑文训 网络优化 2000
4. 梁吉元 CAM系统中孔加工路径的优化处理[期刊论文]-计算机集成制造系统 2000(01)

引证文献(1条)

1. 许兆美, 金卫凤, 李健 基于遗传算法的孔群加工路径优化[期刊论文]-机械设计与制造 2011(2)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zzjsyjc200210005.aspx