

DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.201609023



石材桥切机自动化加工过程的 图形分析与路径优化

林宇^{1,2}, 邵辉^{1,2}, 胡伟石³, 罗继亮^{1,2}, 晏来成^{1,2}, 黄吉祥⁴

(1. 华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021;

2. 福建省电机控制与系统优化调度工程技术研究中心, 福建 厦门 361021;

3. 华侨大学 实验室与设备管理处, 福建 厦门 361021;

4. 华侨大学 制造工程研究院, 福建 厦门 361021)

摘要: 针对石材桥式切割机加工石料过程中的加工路径优化问题, 基于 C# 设计一套控制系统. 该控制系统通过解析绘图交换格式(DXF)图形文件中的多个图形元素获取数据信息, 并利用数据信息针对复杂图形设计方案进行加工路径优化, 以加工完所有图形轮廓的路径最短为目标. 根据优化目标将其简化为多点之间的路径优化, 应用遗传算法对各点数据信息进行遗传编码求得次优切割路径. 最后, 通过一个复杂工件的切割路径规划说明该方法的可行性和有效性.

关键词: 路径优化; 石材桥切机; 控制系统; DXF 图形文件; 遗传算法

中图分类号: TP 18; TG 659

文献标志码: A

文章编号: 1000-5013(2018)04-0485-04

Graphic Analyzing and Path Optimization of Automatic Machining Process in Stone Bridge Cutting Machine

LIN Yu^{1,2}, SHAO Hui^{1,2}, HU Weishi³,
LUO Jiliang^{1,2}, YAN Laicheng^{1,2}, HUANG Jixiang⁴

(1. College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;

2. Fujian Engineering Research Center of Motor Control and System Optimal Schedule, Xiamen 361021, China;

3. Laboratory and Equipment Management Department, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;

4. Institute of Manufacturing Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: A control system was designed based on C# for solving the problem of optimizing machining path of stone bridge cutting machine. The data information of graphic multi-elements was obtained by analyzing drawing exchange format (DXF) graphics files in the system. Furthermore, using these data information the cutting path of complicated machining process was optimized with the objective that the cutting path should be shortest for machining all the graphic contours. And according to the optimization objective, it was reduced to the problem of path optimization among points, which obtains the suboptimal cutting path by genetic algorithm. At last, the proposed strategy was verified by a complicated graphic machining process. The optimized path has demonstrated the feasibility and validity of proposed method.

收稿日期: 2016-09-18

通信作者: 邵辉(1973-), 女, 副教授, 博士, 主要从事机器人控制、运动规划、智能控制、非线性系统 LPV 建模的研究. E-mail: shaohuihu11@163.com.

基金项目: 福建省科技计划项目(2015H0026); 教育部第 48 批留学回国人员科研启动项目(2014 年度); 福建省泉州市科技计划项目(2017T001)

Keywords: path optimization; stone bridge cutting machine; control system; DXF graphics file; genetic algorithm

石材桥切机在获得目标加工图形后,通常由加工人员根据经验人为地随机确定加工路径进行单个或者多个图形的加工.在批量加工工件的过程中,这样的路径规划方式极大地降低加工效率,因此,有必要设计一个自动提取加工图形数据、智能优化加工路径的 PC 控制系统.目前,许多文献进行了控制系统的系统设计,如张书伟^[1]使用 C++ 设计控制系统的人机交互界面,文献[2-5]使用 C++ 进行 DXF 图形文件数据提取.但大多数文献的解决方案是通过抓取实体段头(ENTITIES),再逐行读取图形元素组码组值.夏涛等^[6]在 DXF 数据提取的前提下,应用 Dijkstra 算法求取两点间的最短路径;施为^[4]使用最近插入算法进行路径预优化;文献[7-11]探讨了路径优化的遗传算法应用.本文以石材桥切机自动化过程为对象,基于 C# 优化 DXF 图形数据提取方式,并应用遗传算法优化加工路径,设计出一套控制系统.

表 1 实体段组码组值

Tab. 1 Group code value of ENTITIES section

实体段	组码	组值含义
LINE	10,20,30	起点 X,Y,Z 坐标
	11,21,31	端点 X,Y,Z 坐标
LWPOLYLINE	90	顶点数
	10,20	顶点 X,Y 坐标
CIRCLE	10,20,30	中心点 X,Y,Z 坐标
	40	半径
ARC	10,20,30	中心点 X,Y,Z 坐标
	40	半径
	50	起点角度
	51	端点角度

1 DXF 图形文件识别与数据处理

1.1 DXF 图形文件解析

DXF 图形文件是 AutoCAD 绘图交换文件,文中主要涉及对实体段的图形元素进行解析.实体段中包含的各组组码和组值所表示的含义,如表 1 所示.由表 1 可知:只要获取图形元素的各项数据量即代表图形各数据的组码、组值,就可以在 C# 程序中再现 DXF 文件图形^[12-14].

1.2 DXF 图形文件数据读取

在路径规划之前,需要对目标加工元件的加工图形(DXF 图形文件)进行图形元素读取,并建立数学模型简化图形为简单拓扑.这需要对 DXF 文件中的实体段进行解析.对 DXF 文件的实体段解析主要采取逐行读取的方法.

本设计中,一个图形元素的读取过程是:通过 C# 中的读取文件方法 ReadFromFile 打开图形文件,并使用 StreamReader 类读取 DXF 的文本文件各行文本,赋值给变量 THE 1st,变量 THE 2nd 后进行判定.当分别满足 THE 1st 为 0,THE 2nd 为 LINE;THE 1st 为 0,THE 2nd 为 LWPOLYLINE;THE 1st 为 0,THE 2nd 为 CIRCLE;THE 1st 为 0,THE 2nd 为 ARC 时,跳至 LINE, LWPOLYLINE, CIRCLE 和 ARC 子循环,重复使用 StreamReader 类逐行读取各元素代码段下组码和组值.对照表 1 可知各项组值含义,判定各项组值含义,并按照图形元素分类将组值数据存在一个 ArrayList(动态数组)的 DrawList 中.当循环判定到 THE 2nd 为 EOF,则停止实体段读取. StreamReader 类读取 DXF 文件的实体段流程图,如图 1 所示.

获取所有 DXF 图形文件里面的图形元素的信息并存储在一个动态数组 DrawList 里之后,即可以在其他本设计下的命名空间使用此动态数组调用图形元素的信息再现 DXF 图形,建立图形元素之间的路径拓扑,甚至优化路径.

2 加工路径优化

通过对 DXF 文件进行图形处理,即可获取原图所包含的数据信息.从而建立直观的软件图像,并分别对图像的内外轮廓进行加工.但无论在进行内轮廓加工或是外轮廓加工,都存在一个问题,即轮廓加

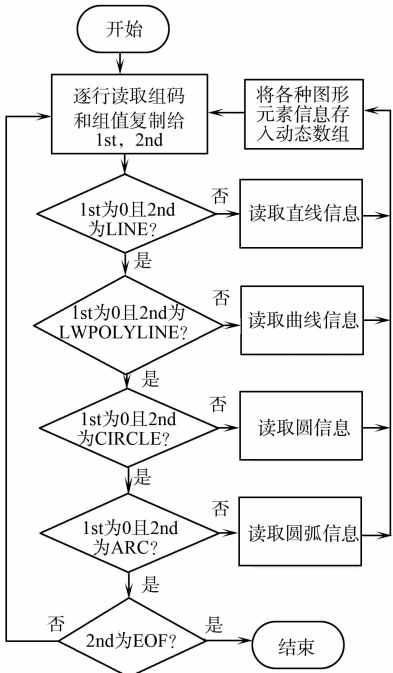


图 1 读取实体段信息的流程图
Fig. 1 Flow chart of obtaining entities section information

工顺序不同,各个轮廓之间的空行程不尽相同.

假定每个轮廓的加工起点为 P_1, P_2, \dots, P_n , 空行程的所有排列即是一个数量为 $n!$ 的排序集合 V . 假定相邻的第 i 个和第 j 个加工起点的距离是 $d_{i,j}$, 那么, 某种排序集合 V_n 下的空行程总路径长度 $L = \sum_{i=1}^{n-1} d_{i,j}$. 遍历所有的空行程排序, 会发现极大值与极小值之间存在着很大的差异. 这使得加工过程中的效率不同, 耗时不同. 加工路径优化目标在于寻找 $L = \min \sum_{i=1}^{n-1} d_{i,j}$ 的空行程排序方式.

实际加工过程中, 在加工目标轮廓数较多, 同一种类型图形的分布较分散的情况更常遇到. 在这种情况下, 图形归类规划法, 即同一种类型图形统一加工的方法, 易造成大量空行程增加, 浪费加工时间, 且效率低下; 而加工人员根据经验人为地随机确定加工路径并不能保证路径的最优或次优. 以图 2 少轮廓数加工工件为例, 图 2 中有 9 个待加工的内轮廓, 点 A 至点 I 分别为 9 个内轮廓的加工起点. 考虑到加工过程的空行程是由刀具起始点 S 开始遍历点 A 至点 I , 再回到起始点 S 的一个闭合回路过程, 则可能的路径数有 $9!$ 种. 该问题可以转化为旅行商问题求解.

旅行商问题是一种典型的 NP 问题. 一名推销员要拜访多个地点时, 需要找到在拜访每个地点一次后再回到起点的最短路径. 对于目标数少的旅行商问题可以采用穷举搜索法, 但随着目标数的增加, 解空间将呈爆炸性增加. 遗传算法是解决旅行商问题的一种高效率算法. 故本系统使用遗传算法解决加工路径空行程的优化问题.

通过 DXF 图形文件识别与数据处理, 可以从 DrawList 中获得所有轮廓的加工起点. 通过编码器反馈还可获得机床刀具的初始位置, 从而得到一组加工起点的 X, Y 轴坐标位置数组 $x[i], y[i] (i=1, 2, \dots, n)$.

1) 遗传编码及种群初始化. 采用排列的方法进行编码更加方便、实用. 以图 2 的加工目标为例, 包括刀具初始点在内, 一共有 10 个加工起点. 加工起点的 X, Y 轴坐标位置数组 $x[i], y[i] (i=10)$, 把所有起点编号 1~10 进行随机排列, 即是一条加工路径, 如路径 $P=(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)$ 的排列方式进行编码, 不仅便于编程, 而且简单直观. 设计中, 以加工起点数 10 为例, 初始种群规模数设定为 30, 即可给出一个二维数组 $\text{FirstPopulation}[30, 10]$, 并通过对随机数及加工起点数进行取模运算, 求得的不重复填充在每一个 $\text{FirstPopulation}[k, 10] (k=1, 2, \dots, 30)$, 从而对种群的每个染色体个体初始化.

2) 适应度函数. 路径优化的目的是让空行程更小, 因而在适应度评价标准中, 空行程更小的路径即染色体个体应该具有更大的权重. 因此, 需要计算每个染色体个体所代表的路径的空行程大小, 从而给出适应度函数. 当每一个加工起点已经被确定, 第 i 点到第 j 点的距离显然也是可知的: $d_{i,j} = \sqrt{(x[i]-x[j])^2 + (y[i]-y[j])^2}$. 这样就可以确定一个距离矩阵元素 $D[i,j]=d_{i,j} (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n)$. 当 $i=j$ 时, 距离矩阵的元素都是 0, 构成的距离矩阵 D 是对称矩阵. 因此, 当获取完初始种群的每个染色体个体的排列方式 $P_k (k=1, 2, \dots, 30)$, 就可以通过查询距离矩阵 D 进行空行程长度累加, 得到每个染色体个体的空行程 $\sum_{j=1}^n D[P_k(j), P_k(j+1)]$. 为了让空行程更小, 染色体个体应该具有更大的权重, 适应度函数可以设为空行程的倒数, 即 $f(k) = 1 / \sum_{j=1}^{n-1} D[P_k(j), P_k(j+1)]$.

3) 交叉与变异. 采用顺序交叉法进行染色体交叉, 从父代 A 中随机地选择一串编码放到子代 A' 中相应的位置; 子代 A' 的剩余部分由父代 B 中编码按照顺序填充 (与 A' 中已经存在的编码不重复). 重复此过程, 即可获得父代 B 的子代 B' . 如父代 $A(872|139|0546)$ 与父代 $B(983|567|1420)$ 经过交叉, 变为子代 $A'(856|139|7420)$ 与子代 $B'(821|567|3904)$.

4) 变异在遗传算法中有着重要作用. 保证遗传算法中染色体种群多样性的作用及搜索算子的作用. 采取对换变异, 即随机选择个体中的两个位点, 进行交换基因. 产生新的加工路径, 如路径 P_k , 随机选择染色体第 4 基因 $P_k(4)$ 和染色体第 8 基因 $P_k(8)$ 进行变异, 得到新的染色体 P'_k . 即 $P_k=(872|139|$

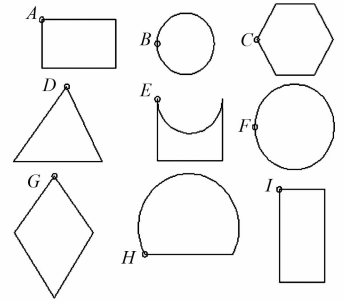


图 2 少轮廓数加工工件
Fig. 2 Work-piece with few contours

0546), $P'_k=(872|539|0146)$.

3 实例分析

使用 7 类 35 个加工工件轮廓经过排版后验证已经解决的问题,即控制系统如何获取目标加工图形的图像信息,以及如何进行每个点和点之间的路径优化.通过 DXF 文件图形的读取,系统共获取 35 个轮廓的 45 个图形元素,包括 5 条直线、5 个圆、10 段圆弧和 25 段折线的具体参数.通过轮廓辨识,将 $A_k, B_k, \dots, G_k(k=1, 2, \dots, 5)$ 当作 35 个加工轮廓的加工起点,假定 A_1 为刀具初始位置,把所有的 35 个加工起点的坐标写入遗传算法进行实验.在实验中,同样选取初始种群数为 30,并设杂交率 $P_c=0.8$,变异率 $P_m=0.01$.

对所有轮廓加工路径进行优化后,可得到一个较理想轮廓的加工路径,如图 3 所示.该加工路径顺序为: $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3 \rightarrow A_4 \rightarrow A_5 \rightarrow B_4 \rightarrow B_5 \rightarrow C_5 \rightarrow C_4 \rightarrow D_4 \rightarrow D_5 \rightarrow E_5 \rightarrow E_4 \rightarrow F_4 \rightarrow F_5 \rightarrow G_5 \rightarrow G_4 \rightarrow G_3 \rightarrow F_3 \rightarrow F_2 \rightarrow G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow F_1 \rightarrow E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow E_3 \rightarrow D_3 \rightarrow D_2 \rightarrow D_1 \rightarrow C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow B_3 \rightarrow B_2 \rightarrow B_1$,加工完所有轮廓后,最后回到 A_1 点.

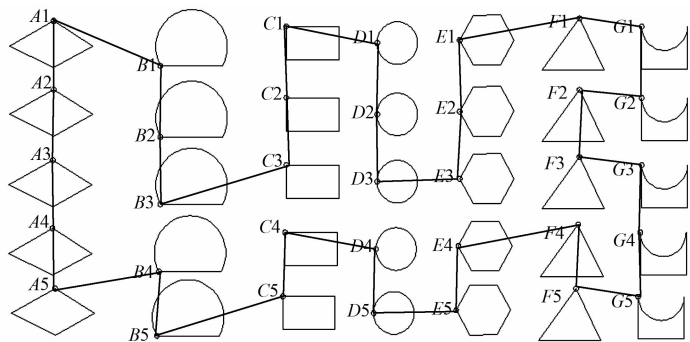


图 3 加工工件路径优化结果

Fig. 3 Machining path optimization result

4 结束语

通过解析 DXF 图形文件内容,使用 C# 编程语言中的 StreamReader 类,可以从中提取直线、多折线、圆和圆弧等实体元素的数据信息.基于这些实体信息,设定各加工实体的轮廓及起点,应用遗传算法优化起点与起点之间的空行程路径,以此实现加工过程的自动化.相比于传统的工人手动操作加工,所提出的方法缩短了空行程距离、节约了人力资源,更具优势,可以应用于数控系统开发.

参考文献:

[1] 张书伟. 石材桥式切割机数控系统的研究与开发[D]. 广州:广东工业大学,2013:10-11.

[2] 谭超,张群会. 基于 AutoCAD 的 DXF 格式文件读写方法研究[J]. 计算机与网络,2009,35(21):46-49.

[3] 张剑英,许徽,陈娟,等. 基于 DXF 文件格式的三次参数样条曲线的生成[J]. 微型机与应用,2010,29(3):56-58.

[4] 施为. 基于 PC 的石材桥式切割机数控系统的软件设计与开发[D]. 广州:广东工业大学,2012:15-21.

[5] 但永平,张蕾,张国涛,等. 基于 VC++ 的 DXF 数据文件接口程序设计[J]. 电子设计工程,2012,20(23):70-74.

[6] 夏涛,江开勇. 基于 DXF 文件的接口设计及两点最短路径的求取[J]. 仪器仪表用户,2006,13(1):89-90.

[7] 徐晟逸. 二维石材锯切割路径优化问题研究[D]. 广州:广东工业大学,2014:18-31.

[8] 肖军民. 一种改进遗传算法在孔群加工路径中的优化[J]. 组合机床与自动化加工技术,2015(2):151-153.

[9] 陆煊,贺军,朱明富,等. 基于突变遗传算法的数控冲床加工路径的优化[J]. 计算机与数字工程,2012,40(3):9-10.

[10] 高伟增,张宝剑,陈付贵,等. 基于遗传算法的切割路径优化[J]. 西南交通大学学报,2005,40(4):457-461.

[11] OYSU C, BINGUL Z. Application of heuristic and hybrid-GASA algorithms to tool-path optimization problem for minimizing airtime during machining[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2009, 22(3):389-396.

[12] YANG Huibin, YAN Juan. DXF file identification with C# for CNC engraving machine system[J]. Intelligent Control and Automation, 2015, 6(1):20-28. DOI:10.4236/ica.2015.61003.

[13] MANSOUR G, TSAGARIS A, SAGRIS D. CNC machining optimization by genetic algorithms using CAD based system[J]. International Journal of Modern Manufacturing Technologies, 2013(1):75-80.

[14] BAI Ying. Design of motion control system based on DXF graphic file[J]. Information Technology Journal, 2013, 12(15):3096-3102. DOI:10.3923/ijtj.2013.3096.3102.

(责任编辑:黄晓楠 英文审校:吴逢铁)