

基于 DXF 文件的数控自动编程中的路径优化^①

梁艳青^{1,2}, 吴文江^{2,3}, 王 品^{2,3}

¹(中国科学院大学 研究生院, 北京 100049)

²(中国科学院大学 沈阳计算技术研究所, 沈阳 110168)

³(沈阳高精数控技术有限公司, 沈阳, 110168)

摘要: 分析了 DXF 文件结构并在此基础上简要介绍了需要提取的信息. 针对无序的加工路径使得空刀路径长度过大的情况, 提出了一种基于遗传算法的路径优化算法. 并比较了路径优化前后路径中空刀路径长度, 可以得出经算法优化后得到的路径空刀路径明显减少, 从而使得加工效率得到提高.

关键词: DXF 文件; 数控自动编程; 图形元素; 遗传算法; 路径优化

Path Optimization in CNC Automatic Programming Based on DXF Files

LIANG Yan-Qing^{1,2}, WU Wen-Jiang^{2,3}, WANG Pin^{2,3}

¹(Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

²(Shenyang Institute of Computing Technology, University of Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110168, China;)

³(Shenyang Golding NC Tech. Co. Ltd., Shenyang 110168, China)

Abstract: The DXF file structure is analyzed and on the basis of the analysis introduces the graphic meta information briefly which ought to be extracted from DXF files. In order to reduce the path length, there is a router optimization algorithm proposed based on genetic algorithms. By comparing the length of the routers, we can see the idle stroke is reduced efficiently and the machining efficiency is improved.

Key words: DXF Files; CNC automatic programming; graphic elements; genetic algorithms; path optimization

自动编程系统是高效的数控编程手段, 是数控系统走向集成化、智能化发展的关键环节^[1]. DXF 文件是一种图形交换文件, 可以实现与其他应用程序交换图形数据. 现今, DXF 文件格式已经成为 CAD 领域的一种标准的数据交换文件, 主流的 CAD 软件都支持 DXF 文件格式^[2]. 基于 DXF 文件的自动编程技术中关键点是要提取出 DXF 文件中的图元信息, 并根据提取出的图元信息进行数控编程. DXF 文件中图元的无序性使得根据文件中图元顺序生成的数控代码会导致加工路径中空行程较多. 为了减小空刀路径, 仔细研究了如何对图元排序, 提出了基于遗传算法的刀具路径优化算法.

1 DXF 文件

1.1 DXF 文件结构

DXF 文件有二进制和 ASCII 两种格式, 由于 ASCII

格式中图元信息容易提取, 本文所提到的 DXF 文件均指 ASCII 格式的 DXF 文件. DXF 文件由组码和关联值组成, 组码的值表明关联值的类型. 每个组码和关联值各占一行. 完整的 DXF 文件由头段、类段、表段、块段、实体段、对象段和 THUMBNAILEDIMAGE 段(可选)组成. 每段都以一个后跟字符串 SECTION 的组码 0 开始, 其后是组码 2 和表示该段名称的字符串, 中间由定义其元素的组码和关联值组成, 最后以一个后跟字符串 ENDSEC 的组码 0 结束^[3]. 图元信息存储在实体段和块段中.

1.2 图元信息提取及处理

DXF 文件中的图元只出现在文件的 BLOCKS 段和 ENTITIES 段, 实体段中包含图形中的图元, 其中包括块参照即插入图元(INSERT), 块段中包含构成图形中每个块参照的块定义和图形图元^[3]. 要提取的图元的关联值和组码如表 1.

① 基金项目: “高档数控机床与基础制造装备”国家科技重大专项(2013ZX04012-021)

收稿时间: 2014-09-22; 收到修改稿时间: 2014-11-14

表 1 各图元组码和关联值表

POLYLINE	组码	70						
	关联值	标志位						
CIRCLE	组码	10	20	40				
	关联值	中心点 X	中心点 Y	半径				
LINE	组码	10	20	11	21			
	关联值	起点 X	起点 Y	端点 X	端点 Y			
VERTEX	组码	10	20	42	70			
	关联值	位置点 X	位置点 Y	凸度	顶点标志			
INSERT	组码	10	20	41	42	50		
	关联值	插入点 X	插入点 Y	X 缩放比例	Y 缩放比例	旋转角度		
LWPOLYLINE	组码	90	70	10	20	42		
	关联值	顶点数	标志位	顶点 X	顶点 Y	凸度		
ARC	组码	10	20	40	50	51		
	关联值	中心点 X	中心点 Y	半径	起点角度	端点角度		
SPLINE	组码	10	20	40	41	70	71	73
	关联值	控制点 X	控制点 Y	节点值	权值	标志位	阶数	控制点数
ELLIPSE	组码	10	20	11	21	40	41	42
	关联值	中心点 X	中心点 Y	长轴端点 X	长轴端点 Y	短长轴比	起点参数	端点参数

由于大部分的数控系统能够实现插补的只有直线和圆弧图元，因此，需要将读取的非直线非圆弧图元表示成一个或多个直线或圆弧段。其中 LINE, ARC 直接读取 ENTITIES 段或 BLOCKS 段中的表 1 中的组码和对应关联值即可。

CIRCLE 图元根据读出的圆心坐标和半径将其表示成两个圆弧段。LWPOLYLINE 图元可以读取顶点坐标和相应的凸度，从而将其表示成直线段或圆弧段的集合。由于 POLYLINE 的顶点都存放在 VERTEX 图元中，因此，需读取其中的 VERTEX 图元中的顶点坐标、凸度等信息，读出的这些信息和 LWPOLYLINE 中一样可将其自身表示成直线段和圆弧段的集合。对于 SPLINE 和 ELLIPSE 需要插值拟合成直线段或圆弧段。

2 加工路径优化

DXF 文件在设计过程中一般不考虑图元顺序，因此，直接根据 DXF 文件中图元顺序生成数控代码，导致加工路径无序，使得加工过程中空行程增多，效率降低，设备磨损加快，经济成本增加^[4]。由此可知，对待加工图形进行排序有非常重要的实践意义。

2.1 加工路径的生成

由于各个图元之间可能有共同点或者可以构成封闭图形。为了更方便地进行加工，在此进行了图元组合，将有公共点的图元尽可能最优的组合到一个图形中，处理过程有四种情况，如下：

若图元与其他图元均没有公共点或图元本身为封闭图元，则将该图元直接加入图形列表中。

若某图元 u 与图元 v 的起始点有公共点，则将 u 插入到包含图元 v 的图形的图元列表中(每个图形都是一个图元的列表)，递归查找直到再没有与所得图形有公共点的图元，从得到的图形中选出最优的包含图元 v 的图形。

若某图元 u 与图元 v 的终点有公共点，则将 u 插入到包含图元 v 的图形的图元列表中(每个图形都是一个图元的列表)，递归查找直到再没有与所得图形有公共点的图元，从得到的图形中选出最优的包含图元 v 的图形。

若存在与图元 v 的终点和起始点都有公共点的图元，则将该图元插入到包含图元 v 的图形的图元列表中(每个图形都是一个图元的列表)，递归查找直到再

没有与所得图形有公共点的图元, 从得到的图形中选出最优的包含图元 v 的图形.

将得到的图形依次加入列表中. 若按图形列表中图形顺序进行加工, 则加工路径无序、加工过程中空行程较多.

2.2 加工路径优化

优化加工路径的过程就是对图形列表中的图形进行排序, 使得加工过程中空刀路径最少. 如果把图形看做一个点, 加工路径的优化过程就类似于 TSP 问题的求解过程, 而遗传算法在解决 TSP 问题方面效果比较显著, 因此, 这里提出了一种基于遗传算法的加工路径优化算法.

遗传算法通过模拟自然界中生物进化过程中的遗传基因的复制、交叉和变异现象, 从任意初始种群出发, 通过选择、交叉和变异, 产生下一代种群, 这样一代一代进化, 最终产生最适应环境的个体, 也就是问题的最优解^[5]. 编码方式、适应度函数设计、初始种群生成、遗传操作算子设计和算法中重要参数设计是实现遗传算法的关键.

算法控制参数主要有初始种群规模、交叉概率和遗传概率. 种群规模太大会导致计算复杂度太高, 太低的种群规模又容易使算法陷入局部最优状态^[6]. 一般取 10 到 160 之间. 根据以上情况设置种群规模为待排序图形数的一半和 20 的较小值. 较大的交叉概率可能增强遗传算法开辟新的搜索区域的能力, 交叉概率太低, 遗传算法又有可能陷入迟钝状态, 一般取值在 0.25 到 1.00 之间^[7]. 为防止本算法陷入迟钝状态, 本算法中取交叉概率为 0.5. 低频度的变异可防止群体中重要的、单一基因的可能丢失, 高频度的变异将使遗传算法趋于纯粹的随机搜索, 通常取变异概率为 0.001 左右^[7]. 本算法中变异概率设置为 0.002.

算法首先产生一初始种群, 然后依据适应度函数值迭代执行遗传操作, 最终产生最优的加工路径. 迭代次数设置为 300 次.

初始种群的产生(编码方式为路径中图形的序号的排列). 由于好的初始种群可以使算法收敛较快, 故采用最近邻算法得到初始种群的个体. 随机选择一图形开始, 查找起点与该图形终点距离最近的图形, 将该图形作为路径中下一图形, 再查找起点与该图形终点最近的图形, 递归地得到一加工路径作为初始种群中一个个体.

适应度函数设计. 遗传算法中适应度函数值用于评价一个个体的优劣, 适应度函数值越大, 个体越优秀. 在这里适应度函数被设计成路径的空刀路径的长度的倒数. 对于包含 N 个图形的路径 $\{ p_1, p_2, \dots, p_{N-1}, p_N \}$, 则适应度函数为 $f = 1 / \sum_{i=1}^N d_{p_i p_{i+1}}$, 其中 $d_{p_i p_{i+1}}$ 为图形 p_i 终点到图形 p_{i+1} 起点的距离.

遗传操作: 选择; 交叉; 变异.

选择: 从初始种群中选择初始种群规模的一半数量的个体遗传到下一代. 选择算子设计: 从初始种群中随机选择两个个体, 将较小的个体遗传到下一代. 再依次从初始种群中未被选择的个体中随机选择两个个体将较小的遗传到下一代直至初始种群中所有个体均被遍历到, 以保证遗传到下一代的个体不是初始种群中重复的个体.

交叉: 对通过选择操作得到的个体, 当随机数小于交叉概率时, 交叉操作进行. 交叉算子设计: 从选择操作中的得到的个体中随机选择两个个体作为父个体分别记为 $parent$ 和 $child$, 用于交叉操作产生子个体; 随机产生两个不等的小于 N 的自然数 $index0, index1$ ($index0 < index1$), 将 $parent$ 从索引 $index0$ 到索引 $index1$ 对应的图形序号从 $child$ 中去除, 再产生一随机数 $index$ 用于确定将从 $parent$ 中去除的索引所对应图形序号插入到 $child$ 中的位置 $index$. 若进行了交叉操作则得到新的路径 new_child 作为新个体遗传到下一代; 若未进行交叉操作则选择 $child$ 和 $parent$ 适应度函数值较大的作为新个体遗传到下一代. 图 1 表示了交叉操作的一个实例, 将 $parent$ 的 5 到 8 之间的图形序号 3、0、8、4 从 $child$ 中取出, 然后将 3、0、8、4 插入到图形序号 1 和 5 之间, 从而得到 new_child .

```

Index0=5, index1=8, index=3
parent: 10 5 7 1 9 3 0 8 4 2 6
child:  9 4 2 7 3 1 | 0 5 8 6 10
new_child: 9 2 7 1 3 0 8 4 5 6 10
  
```

图 1 交叉运算

变异: 对遗传到下一代中的个体, 当随机数小于变异概率时, 变异操作进行. 变异算子设计: 随机产生两个不等的小于 N 的正整数 $index0$ 和 $index1$, 交换

路径中两个位置索引处的图形编号. 变异运算实例如图 2, 将原路径中的 index0 和 index1 位置处的图形序号交换得到变异后的路径.

```

Index0=5, index1=8
Origin_route: 10 5 7 1 9 3 0 8 4 2 6
Mutate_route: 10 5 7 1 9 4 0 8 3 2 6
    
```

图 2 变异运算

2.3 优化前后结果对比

此处举一实例对算法排序的有效性进行说明. 图 3 图 4 中黑色图形为待加工图形, 带箭头的线为空刀路径. 图 3 为图形未排序时加工顺序, 图 4 为图形已排序时的加工顺序. 按图 3 加工时, 空刀路径为 1296.61655. 按图 4 加工顺序进行加工时, 空刀路径为 639.39463. 优化后空刀路径减少了超过 50%.

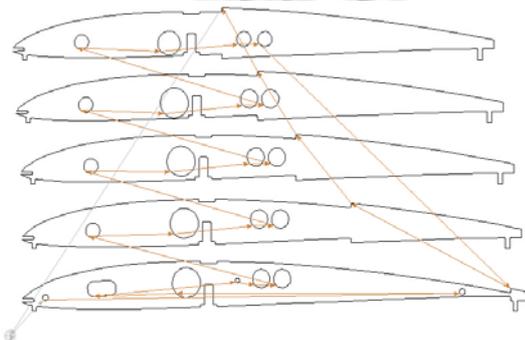


图 3 优化前的刀具路径轨迹

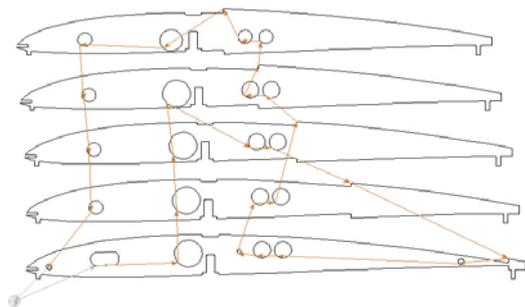


图 4 优化后刀具路径轨迹

表 2 优化效率表

图形数目	优化前空刀 路径长度	优化后空刀 路径长度	优化结果 (%)
10	1116.7874	607.8789	45.6
50	2658.6207	1016.1741	61.7
100	5608.5502	1028.6433	81.7
1000	45744.4921	6552.6595	85.7

实验得到表 2 中数据, 可知: 图元数目越多, 优化效率越高.

3 结语

介绍了 DXF 文件结构以及 DXF 文件中图元信息的提取流程, 提出了一种基于遗传算法的路径优化算法. 该算法有效地减少了加工路径中的空刀路径, 大大提高了加工效率, 减轻了机器磨损情况. 最后, 通过实例说明了该算法的有效性. 本文提出的路径优化算法的遗传操作算子还有待改进以提高算法收敛速度, 使得算法尽可能快的得到尽可能最优的结果.

参考文献

- 1 王明,孙进.基于 DXF 文件的图形自动编程数控系统设计.中国农机化,2011,2:122-124.
- 2 刘启生,邵东伟,杜云明,张世忠.基于 DXF 文件的数控加工系统的实现研究.佳木斯大学学报(自然科学版),2009,4:542-544.
- 3 龚清洪.基于 DXF 的绘图轨迹优化及仿真系统研究与实现[学位论文].西安:西北工业大学,2006.
- 4 卢婷婷.基于 DXF 文件的水切割机机床轨迹优化及仿真加工的研究与实现[学位论文].南京:南京航空航天大学,2010.
- 5 Beasley D, Bull DR, Martion RR. An overview of genetic algorithms, part 1: fundamentals. University Computing, 1993, 15(2): 58-69.
- 6 Johnson DS, McGeoch LA. The traveling salesman problem: A case study in local optimization. Local Search in Combinatorial Optimization, 1997, 1: 215-310.
- 7 陈国良,王煦法,庄镇泉,等.遗传算法及其应用.北京:人民邮电出版社,2001.