

文章编号: 1004-4353(2014)04-0370-05

# 基于 TSP 的孔群加工路径优化算法

颜国霖

(黎明职业大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362000)

**摘要:** 建立以孔群加工最短路径为优化目标的数学模型, 采用蚁群算法与 2-OPT 算法相融合的优化方法, 研究了模具顶针板孔群加工刀具路径优化问题. 结果表明, 该融合算法加快了收敛速度, 可有效避免陷入局部最优解, 加工优化路径比贪心算法缩短 12.34%, 比基本蚁群算法缩短 14.78%, 即有效缩短了加工路径, 减少了空走刀时间, 提高了数控加工效率.

**关键词:** 孔群加工; 路径优化; 蚁群算法; 贪心算法; 融合算法

**中图分类号:** TP391.9

**文献标识码:** A

## Research on holes machining path optimization algorithm based on TSP

YAN Guolin

(Department of Electromechanical Engineering, Liming University, Quanzhou 362000, China)

**Abstract:** For the problem of holes machining path planning optimization, a optimal mathematic model was established based on the shortest path of holes machining. With this model, a fusion algorithm was developed by using the combination of ant colony algorithm and 2-OPT algorithm. The experiment result showed that the fusion algorithm accelerated the convergence rate, effectively avoided local optimal solution, and respectively shortened the processing route by 12.34% than the greedy algorithm and by 14.78% than ant colony algorithm. It proved that the algorithm processed path and shortened idle waking-cutter time, and also greatly improved the NC processing efficiency.

**Key words:** holes machining; path planning optimization; ant colony algorithm; greedy algorithm; fusion algorithm

在模具顶针板和面针板加工中孔群加工占有很大比重,但由于孔的位置不同、孔径大小不一,在孔加工时换刀时间和空走刀时间占总加工时间的 30% 左右<sup>[1]</sup>,大大降低了生产效率;因此,寻求一种孔群加工最短路径的优化算法对提高孔群加工效率具有重要意义.目前,提高孔群加工效率普遍采用贪心算法、蚁群算法或蚁群算法与其他算法相结合的方法<sup>[2-5]</sup>,这些算法虽然在一定程度上优化了加工路径,但采用贪心算法产生的是全局最优解<sup>[6]</sup>,使刀具空走刀行程增加,实际求得的解并非最优,而采用蚁群算法进行优化会造成计算量和搜索时间增加,易出现停滞现象.针对孔群中不同孔径加工问题,本文构造了蚁群算法与 2-OPT 算法相融合的优化算法,并与贪心算法、基本蚁群算法进行了比较,最后在模具顶针板孔群加工实验中验证了本文算法的有效性.

1 路径优化算法的数学模型

使用数控钻孔机进行孔加工时,为了将换刀次数降到最少,通常会使用同一把刀从下刀点开始,沿着最短路径加工完所有可能加工的孔,然后再换另一把刀加工另一尺寸的孔,如此循环.此过程可视为典型的旅行商问题(travelling salesman problem,TSP)<sup>[7]</sup>,即刀具充当旅行商角色,孔位置代表城市位置,孔群路径优化目标则是刀具路径最小值.该问题用图论可描述为:给定一个带权有向图  $G=(V,E)$ ,  $V$  表示  $G$  的顶点集,  $V=\{1,2,\cdots,n\}$ ,  $E$  表示图  $G$  的边集,  $d_{ij}$  表示任意两孔之间的距离,也就是  $v_i$  指向  $v_j$  的边的权重,  $i,j=1,2,\cdots,n$ .图  $G$  的最短路径问题就是求解从下刀点到  $V$  中其他各顶点的最短路径长度,其中:路径长度定义为路径上各条边的权重之和;约束条件为刀具从换刀点开始,无重复地加工每一个孔,且遍历所有的孔.其数学模型为

$$S=\min \sum_{i \neq j}^N d_{ij} x_{ij},$$

(1)

其中  $n$  表示零件上的孔数.当刀具在规划加工路线上时,  $x_{ij}=1$ ; 否则,  $x_{ij}=0$ .

2 智能融合算法

假设有  $m$  只蚂蚁,  $d_i$  表示任意两孔之间的距离,  $\tau_{ij}(t)$  表示  $t$  时刻残留在第  $i$  个孔和第  $j$  个孔连线上的信息量.初始时刻  $t=0$ ,各条路径上有少量的信息  $\tau_{ij}(0)$ ,根据各条路径上信息量的多少,  $t$  时刻位于某一个孔的蚂蚁  $k(k=1,2,\cdots,m)$  一次只能选择一个目标孔.根据伪随机比例规则,当蚂蚁  $k$  从孔  $i$  移动到孔  $j$  时满足如下关系式:

$$j=\begin{cases} \max\{\tau_{il}\eta_{il}^\beta\}, c_{ij} \in N(S), \text{若 } q \leqslant q_0; \\ \text{依据概率 } p_{ij}^k \text{ 选择 } j, \text{ 否则;} \end{cases}$$

(2)

$$p_{ij}^k=\begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{i,l \in N(S)} \tau_{il}^\alpha \cdot \eta_{il}^\beta}, \text{ 如果 } c_{ij} \in N(S); \\ 0, \text{ 其他情况.} \end{cases}$$

(3)

其中  $N(S)$  是可行元素的集合,系数  $\alpha$  和  $\beta$  控制着信息  $\tau_{ij}$  和启发式信息  $\eta_{ij}$  的相对重要性.在孔群加工中,  $\eta_{ij}$  表示孔  $i$  和孔  $j$  间的期望程度,设为距离的倒数.在每一次迭代中,所有的  $m$  只蚂蚁都更新它自己所找到的解的路径上的信息素.信息素  $\tau_{ij}$  的更新规则如下:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1-\rho) \cdot \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k,$$

(4)

其中  $\rho$  是挥发系数,  $m$  是蚂蚁的个数,  $\Delta \tau_{ij}^k$  是蚂蚁  $k$  释放在边  $(i,j)$  上的信息素,

$$\Delta \tau_{ij}^k=\begin{cases} \frac{Q}{L_k}, \text{ 如果第 } k \text{ 只蚂蚁所找的路径中包含边 } (i,j); \\ 0, \text{ 其他情况;} \end{cases}$$

(5)

其中  $Q$  是一个常数,  $L_k$  是蚂蚁构建的路径长度.

在蚁群算法最后阶段引入 2-OPT 算法,即从一条初始可行解开始,通过交换路径中的 2 条互不相邻的边,做一次 2-OPT 交换,如图 1 所示.该方法可使算法不易陷入局部最优解,能够增大解突变的机率,扩大蚂蚁搜索空间,加快搜索速度.两种算法的融合实现步骤如下:

1) 初始化参数.初始化孔群加工中所有相邻点间的信息素,初始时刻路径  $\Delta \tau_{ij}^k=0$ .  $A_1$  点作为蚂蚁群体出发点,设

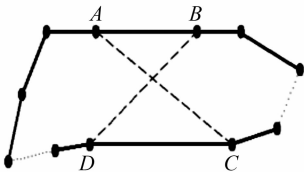


图 1 2-OPT 算法原理图



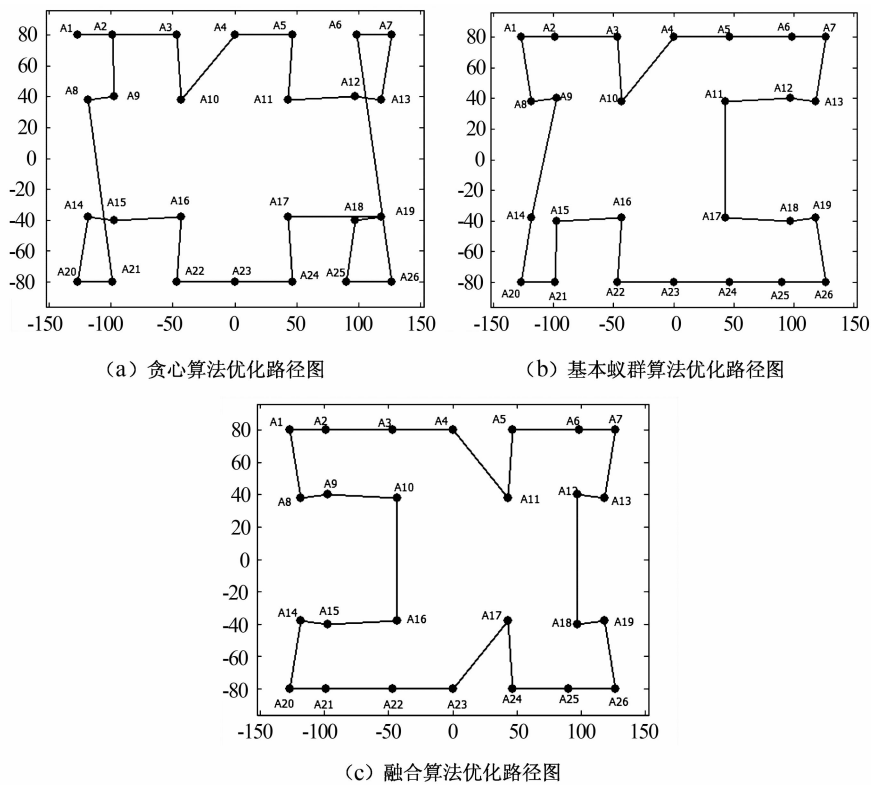


图 3 不同算法下  $\phi 3$  中心钻路径实验结果图

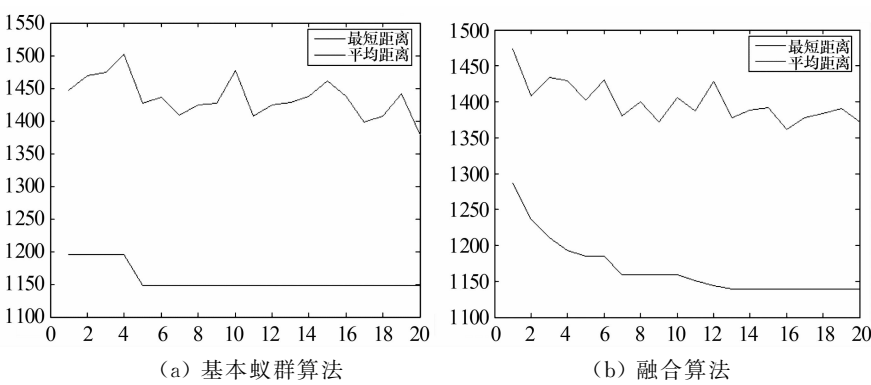


图 4 最优解迭代搜索过程

3.2 实验数据分析

对比表 1 中 3 种算法对 4 种刀具路径优化后的路径长度可知,融合算法优化刀具路径比贪心算法分别缩短了 5.27%、1.72%、1.36%、3.81%,比蚁群算法分别缩短了 0.76%、1.52%、1.05%、3.46%,由此可知,融合算法比贪心算法、蚁群算法更能有效地节省走刀时间,提高加工效率.在模具加工中,孔的数量越多,效果越明显.

表 1 不同算法、不同刀具所优化的路径长度

算法	不同刀具所优化的路径长度			
	$\phi 3$ 中心钻	$\phi 6.8$ 麻花钻	$\phi 7.8$ 麻花钻	$\phi 11.8$ 麻花钻
贪心算法	1 198.91	623.12	830.03	725.00
蚁群算法	1 147.50	621.91	827.50	722.56
融合算法	1 138.93	612.63	818.91	698.42

4 结束语

本文针对基本蚁群算法、贪心算法的不足,提出将蚁群算法与 2-OPT 算法相结合的融合算法. 路径优化实验结果表明,本文提出的算法在模具顶针板加工路径规划上,可有效地缩短走刀路径,降低顶针板数控加工时间,节约加工成本.

参考文献:

[1] 周鲲,邵华. 基于 Hopfield 算法的孔群加工路径规划[J]. 模具技术,2003,21(1):48-50.  
[2] 潘海鸿,刘晓琳,廖小平,等. 钣金激光切割加工 CAD/CAM 软件的孔群加工路径算法[J]. 组合机床与自动化加工技术,2013(11):110-118.  
[3] 陈琳,刘晓琳,潘海鸿,等. 孔群分类加工的优化算法[J]. 制造业自动化,2013,39(9):45-49.  
[4] 曲晶,肖世德,熊鹰. 基于蚁群算法的 PCB 孔加工路径优化[J]. 机电工程,2007,40(10):48-51.  
[5] Dorigo M, Birattari M, Stutzle T. Ant colony optimization: artificial ants as a computational intelligence technique[J]. IEEE Computational Intelligence Magazine, 2006,1(4):28-39.  
[6] 张军,钟竞辉. 算法分析与设计[M]. 北京:清华大学出版社,2011:177-185.  
[7] 孙业荣,姚斌,张春雨. 基于 TSP 和塑料模具顶针板孔群加工路径优化问题的研究[J]. 机械设计与制造,2010,10:241-243.

(上接第 369 页)

参考文献:

[1] 侯鹰,李波,郝利霞. 北京市生态文明建设评价研究[J]. 生态经济(版),2012(1):436-460.  
[2] 王如松,胡聃,弘扬生态文明、深化学科建设[J]. 生态学报,2009,29(3):1055-1067.  
[3] 周传斌,戴欣,王如松. 城市生态社区的评价指标体系及建设策略[J]. 现代城市研究,2010,25(12):11-15.  
[4] 廖海伟,林震,肖轲. 我国生态文明城市指标体系的比较研究[J]. 全国商情(理论研究),2010(12):8-9.  
[5] 王贯中,王惠中,吴云波,等. 生态文明城市建设指标体系构建的研究[J]. 污染防治技术,2010,23(1):55-59.  
[6] 刁尚东. 我国特大城市生态文明评价指标体系研究:以广州市为例[D]. 武汉:中国地质大学,2013.  
[7] 张茜,王益澄,马仁锋. 基于熵权法与协调度模型的宁波市生态文明评价[J]. 宁波大学学报:理工版,2014,27(3):113-118.  
[8] 马晓男. 延边州城市生态系统健康评价研究[D]. 延吉:延边大学,2013.  
[9] 孙德福,李静,张平宇,等. 延边州城镇化空间结构差异研究[J]. 城市发展研究,2011,11(1):103-108.  
[10] 何天祥. 企业管理结构复杂度评价的新方法:熵正交投影法[J]. 系统工程理论与实践,2005(4):115-119.  
[11] 何天祥,廖杰,魏晓. 城市生态文明综合评价指标体系的构建[J]. 经济地理,2011,31(11):1897-1900.  
[12] 白杨,黄宇驰,王敏,等. 我国生态文明建设及其评估体系研究进展[J]. 生态学报,2012,31(20):6295-6304.  
[13] 马道明. 生态文明城市构建路径与评价体系研究[J]. 城市可持续展,2009,16(10):80-85.  
[14] 王桂忠. 对生态旅游发展与生态文化发掘的认识[J]. 河北林果研究,2008,23(4):453-456.