

文章编号 :1000-582X(2009)12-1477-05

# 求解空走优化路径的自适应邻域遗传算法

罗辞勇,卢斌,韩力

(重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室,重庆 400030)

**摘要:**建立激光加工中空走路径优化的数学模型,并转化为旅行商问题(TSP)来求解。对最近邻法进行改进形成自适应邻域法。在自适应邻域法中,从某个城市出发,下一城市不一定是其最近城市,而是在比其最近城市稍远的邻域范围进行动态随机选取。在求解 TSP 的遗传算法中,采用自适应邻域法对种群初始化,然后采用选择、交叉、变异进行迭代,在选择中仅保留父代 90% 的样本,剩下的采用自适应邻域法产生新样本进行补充。运行结果表明,该算法缩短了激光加工空行程,提高了加工效率。

**关键词:**遗传算法;旅行商问题;自适应邻域法

**中图分类号:** TP301

**文献标志码:** A

## Adaptive neighborhood method & GA for solving the vacancy route optimization of machining

LUO Ci-yong, LU Bin, HAN Li

(State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

**Abstract:** The mathematical model of vacancy course path optimization of laser machining is built and changed to the travelling salesman problem (TSP). The Nearest Neighbor (NN) is modified to Adaptive Neighborhood Method (ANM). In ANM one mimics the traveller whose rule of thumb is not always to go next to the nearest as-yet-unvisited location. The next city is randomly selected from the unvisited cities in adaptive neighborhood. While solving the TSP, ANM is used to create the initial population at first, then iterations are done through selection, cross and mutation operation. In selection, the proposed algorithm only keep 90% samples from the previous generation, the remained agents are supplied by the new sample created by ANM. The results show that the algorithm shortens vacancy course in laser machining and the manufacturing efficiency is improved.

**Key words:** GA; TSP; adaptive neighborhood method

激光加工属于一种精密加工技术,激光头在工作时,由于图形的不连续性,必须经常转移激光头,有时这种空走的距离长度占用激光头移动距离中的相当大的一部分,降低了工作效率。激光切割、雕刻或者打孔等应用中激光头空走路径的有效选择,对

激光加工这样一个高投入、高消耗、高产出的高新设备而言,即使单件加工节省较少的的时间,其效益也是十分可观的。激光头空走路径优化就是指如何安排加工顺序使加工过程中空走时间最短。

这一问题通常转化为 TSP 问题来进行求解。

收稿日期:2009-07-15

基金项目:重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2008BB6163);国家“111”计划项目(B08036)

作者简介:罗辞勇(1973-),男,重庆大学博士,主要从事智能控制理论及应用等研究,(E-mail) luociyong@cqu.edu.cn。

刘会霞等研究分层实体制造激光头切割路径的建模与优化,指出激光切割路径优化的实质是空行程路径的优化,把相应的问题转化为 TSP 问题,并采用蚁群系统算法来求解<sup>[1]</sup>。张礼兵等把激光打孔路径优化问题转化为 TSP 问题,并采用遗传算法进行求解<sup>[2]</sup>。阮亮中将求解 TSP 问题的环路构造算法应用在激光雕刻机路径控制中<sup>[3]</sup>。TSP 问题的求解主要采用近似算法(如最近邻法<sup>[4]</sup>)和智能算法(如粒子群优化算法、遗传算法、神经网络、蚁群算法等<sup>[8-12]</sup>)。两类算法相比,近似算法速度快,而智能算法解的质量更好<sup>[3]</sup>。在文献[1-3]中均是把近似算法和智能算法单独应用来求解。本文工作是对近似算法中的最近邻法进行改进,并引入到智能算法(遗传算法)当中。在遗传算法中,采用自适应邻域法进行种群初始化,其后进行选择、交叉、变异操作进行迭代。在选择过程当中 90% 的个体从父代中采用轮盘赌的方式选出,剩下的 10% 采用自适应邻域法产生新个体进行补充。实验结果表明采用自适应邻域遗传算法比最近邻法进一步缩短空行程行走时间,提高了激光加工效率。

## 1 激光头空走路径优化问题的定义

### 1.1 旅行商问题的数学描述

TSP 是典型的组合优化问题。TSP 的数学描述为:有  $n$  个城市的集合  $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ , 以及城市对  $\{c_i, c_j\}$  之间的相互距离  $d(c_i, c_j) \quad i, j = 1, 2, \dots, n$ 。要求找到一条遍历所有城市且每个城市只被访问一次的路线,并使得总路线距离最短。即:

$$\min \sum_{i=1}^{n-1} d(c_{(i)}, c_{(i+1)}) + d(c_{(n)}, c_{(1)})。 \quad (1)$$

### 1.2 激光头空走路径优化问题的数学描述

尽管激光头空走路径问题可以归结为 TSP 问题,但它与传统的 TSP 存在不同之处:传统 TSP 问题是可以从任意城市出发,最后回到出发的城市,而激光头在一个完整的加工过程中,都是从编程零点(或设定点)出发,并最终回到编程零点(或设定点)<sup>[11]</sup>。

另外在加工过程中,激光头加工的具体对象通常是首尾连接的直线、圆弧、圆等图元构成的多个封闭轮廓图形组成。由于封闭的图元必须切割,因此无论从何点开始切割,封闭图元长度不变,图元加工基本上不存在路径优化问题<sup>[1]</sup>。激光头空走路径规划就是指如何安排行走顺序,使激光加工过程中快速空移行程的时间最短。为了简化数学模型,则每个加工图元就简化为一个打孔点。打孔点确定方法

可以参见文献[1]。

综上所述,激光头空走路径优化问题转化为 TSP 问题,需要做如下处理:

(1) 已有  $n$  打孔点作为  $n$  个城市的集合  $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ , 计算城市对  $\{c_i, c_j\}$  之间的相互距离  $d(c_i, c_j) \quad i, j = 1, 2, \dots, n$ 。

(2) 增加一个编程零点作为起点城市  $c_0$ , 计算城市对  $\{c_0, c_j\}$  之间的相互距离  $d(c_0, c_j) \quad j = 1, 2, \dots, n$ 。

要求找到一条从城市  $c_0$  开始遍历所有城市并返回  $c_0$ , 且每个城市只被访问一次的路线,并使得总路线距离最短。即:

$$\min d(c_0, c_{(1)}) + \sum_{i=1}^{n-1} d(c_{(i)}, c_{(i+1)}) + d(c_{(n)}, c_0)。 \quad (2)$$

## 2 自适应邻域遗传算法

TSP 问题最自然、直观的求解方法应该是最近邻法(NN, Nearest Neighbor)。在此方法中,从某个城市出发,其下一站是从未去过的最近城市。最近邻法可以采用如下方法描述:设推销员从城市  $i$  出发,则集合  $V = \{1, 2, \dots, i-1, i+1, \dots, n\}$  表示未到过的城市,在该集合中寻找城市  $k$ , 满足  $d_{i,k} = \min\{d_{i,j} : j \in V\}$ 。若集合  $V$  中还有元素,令  $i = k$ , 从集合  $V$  中去除城市  $k$ , 则重复上述步骤,直到集合  $V$  为空,从而求得一个哈密尔顿(Hamilton)回路<sup>[4]</sup>。

最近邻算法简单明了,但是所形成的路径是近似解。图 1 显示从城市  $c_8$  出发,采用最近邻法形成的路径,其路径并不是最优的。但最近邻法具有时间复杂度低的优点,能够快速提取局部优化路径信息(图 8 中  $c_3$  到  $c_5$  的路径)。

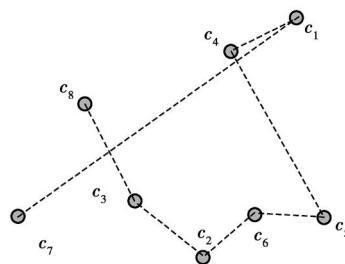


图 1 从  $c_8$  出发的最近邻法路径

遗传算法(GA, Genetic Algorithm)是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索算法。文献[8]指出将 GA 应用求解 TSP 问题时的主要缺点是:对于结构复杂的组合优化问题,搜索空间大,搜索时间比较长,往往会出现早熟收敛的情况;对初始种群很敏感,初始

种群的选择常常直接影响解的质量和算法效率。

针对最近邻法和遗传算法各自存在的优缺点,本文对最近邻法进行改进形成自适应邻域法并和遗传算法相结合来求解激光头空走路径问题。

### 2.1 自适应邻域法

在图 2 中假定选择从  $c_8$  开始为例来说明自适应邻域法。与  $c_8$  最近的城市是  $c_3$ 。此时把  $c_8$  设为圆心,以半径  $r$ ( $c_8$  到  $c_3$  的距离)形成内圆,以半径  $r_2$  形成外圆,构成一环形区域(图 2 阴影区),这个区域称为  $c_8$  的邻域。 $c_8$  的邻域中有  $c_3$ 、 $c_4$  和  $c_7$  三个城市, $c_8$  后一个城市将在这三个城市中随机选择,这样可克服最近邻法的缺陷。其后依次类推,直到所有的城市都去过,搜索结束。

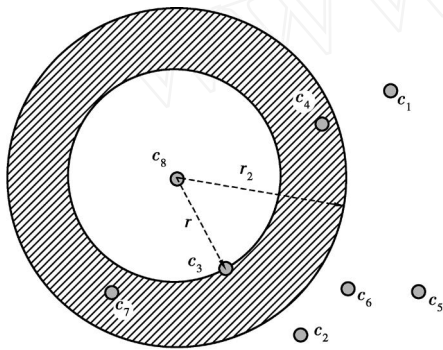


图 2 自适应邻域法原理图

外圆半径的大小对此方法的性能影响很大,  $r_2 = r$  时就退化为最近邻法;  $r_2$  为无穷大就变成了随机搜索,方法就失去了意义。为了克服这个问题,  $r_2$  在有限的范围内自适应选取。  $r_2$  由式(3)来确定。

$$r_2 = \text{rand}(1.0, \quad) r_0. \tag{3}$$

$\text{rand}(1, \quad)$  表示是在 1.0 和  $\quad$  之间的随机数。由于邻域的范围是自适应动态变化的,该方法称为自适应邻域法 (Adaptive Neighborhood Method, ANM)。

自适应邻域法可以采用如下方法描述:

- (1) 随机选择推销员从城市  $i$  出发;
- (2) 形成未到过的城市集合  $V = \{1, 2, \dots, i - 1, i + 1, \dots, n\}$ ;
- (3) 在集合  $V$  中寻找城市  $k$ , 满足  $d_{i,k} = \min\{d_{i,j} : j \in V\}$ ;
- (4) 在集合  $V$  中寻找子集合  $M$ , 其元素满足:  $d_{i,k} \leq d_{i,m} \leq \text{rand}(1, \quad) d_{i,k} : m \in M$ ;
- (5) 在集合  $M$  中随机抽取选择城市  $t$ , 作为下一个城市, 将  $M$  清空, 从  $V$  中移除城市  $t$ ;
- (6) 如果  $V$  集合不空, 令  $i = t$ , 跳到 (3); 否则搜索结束。

针对图 1 的城市图,假定从  $c_8$  出发,采用邻域法将会在  $c_7$ 、 $c_3$  和  $c_4$  作出选择,若选择  $c_7$ ,其后会选择  $c_3$ ,以此类推,当样本比较充分的情况下就存在很大概率得到图 3 所示的优化路径。

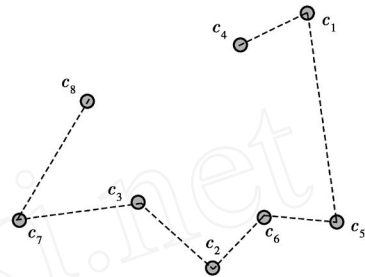


图 3 从  $c_8$  出发的自适应邻域法优化路径

### 2.2 结合自适应邻域法的求解 TSP 遗传算法

本文用遗传算法来求解 TSP 问题,对其初始化和选择部分进行了改进 [13-15]。

遗传算法的步骤如下:

Step1:初始化。设置进化代数计数器  $t = 0$ ; 设置最大进化代数 Max Generation; 设置遗传算法的几个重要参数(交叉概率  $P_c$ 、变异概率  $P_m$  和群体规模  $N$ ); 采用自适应邻域法产生  $N$  个个体作为初始群。

Step2:个体评价。计算群体中每个个体的适应度。

Step3:选择操作。将选择算子作用于群体,即根据各个个体的适应度,按照一定的规则或方法,从当前群体中选择出一些优良的个体遗传到下一代群体中。为了克服遗传算法早熟收敛,本文采取如下特殊策略:采用轮盘赌方式选择上代 90% 的个体,剩下 10% 采用 ANM 产生新个体进行补充。

Step4:交叉操作。以交叉概率  $P_c$  选择当前群体的个体随机搭配成对进行交叉操作,本文采用文献[15]中的贪婪交叉算子。

Step5:变异操作。将当前群体每一个个体,以变异概率  $P_m$  改变某一个或某一些基因值。变异算子有倒位变异、交换变异、插入变异等,本文采用文献[15]中的启发式倒位变异算子。

群体经过选择、交叉、变异操作后得到下一代的群体。

Step6:终止条件判断。若  $t < \text{Max Generation}$ , 则  $t = t + 1$ , 转 Step2; 否则,将当前群体中具有最大适应度的个体作为最优解输出,终止计算。

在每代中加以由 ANM 产生的新个体起到了 2 个作用:

- (1) 克服遗传算法的早熟收敛。在遗传进化过

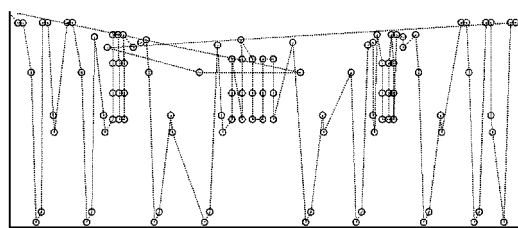
程中,优势个体会越来越多,并在种群中占据大多数位置,到了后期,种群的个体极为相似,就会导致早熟收敛。在每代中补充新的样本可以提高种群的多样性。

(2)发挥 ANM 优化路径搜索的性能。仅在初始化时采用 ANM,其样本数是有限的,种群所蕴涵的优化路径信息量是有限的。充分的 ANM 样本才能充分提取局部和全局最优路径信息。

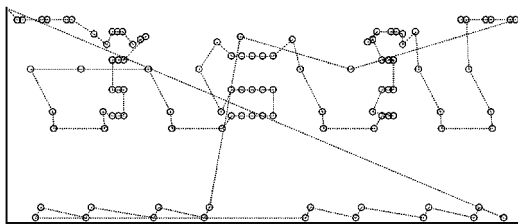
### 3 应用实例

#### 3.1 优化模型

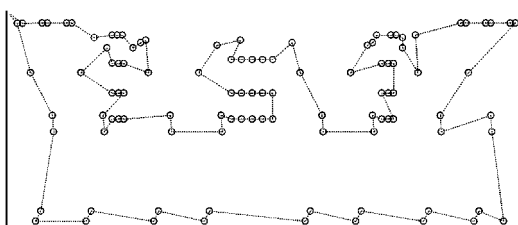
图 4(a)给出了 105 个孔群的分布图,其初始空走路径的长度为 366.48 mm。图 4(b)给出了采用最近邻法得到的空走路径,其长度为 205.23 mm,是初始路径的 56%。最近邻法路径较初始路径有明显的改善,但图 4(b)显示最近邻法路径存在多条交叉和长距离的路线,表明还可以获取更优的路径。



(a) 初始空走路径 (长度 366.48 mm)



(b) 最近邻法空走路径 (长度 205.43 mm)



(c) 自适应邻域遗传算法的优化空走路径 (长度 147.31 mm)

图 4 激光加工空走路径

#### 3.2 自适应邻域遗传算法优化结果

自适应邻域遗传算法中的参数,交叉概率  $P_c$  为 0.5,变异概率  $P_m$  为 0.1,群体个数与城市个数之比为 5,迭代次数为 2 000。

参数  $\beta$  对自适应邻域遗传算法的性能会产生很

大的影响,图 5 显示不同  $\beta$  值下自适应邻域遗传算法激光加工空走路径长度,为了体现算法的重复性,每组实验进行 50 次。 $\beta = 1$  时解是最差的。 $\beta = 1.6$  时获得最小平均解(152.31 mm,是最近邻法空走长度的 74%),对应的最劣解为 159.16 mm(是最近邻法空走长度的 77%),对应的最优解为 147.31 mm(是最近邻法空走长度的 72%)。实验表明自适应邻域遗传算法( $\beta = 1.6$ )相比最近邻法显著降低空走行程,提高了加工的效率。

另外从图 5 可以看出当  $\beta$  在  $[1.3 \sim 2.1]$  区间,其最劣解、平均解、最优解差别不大,参数  $\beta$  具有较宽选择范围。

图 4(c)是一条采用自适应邻域遗传算法得到优化空走路径,路径上没有交叉路线,也没有出现图 4(b)中的长距离路线。

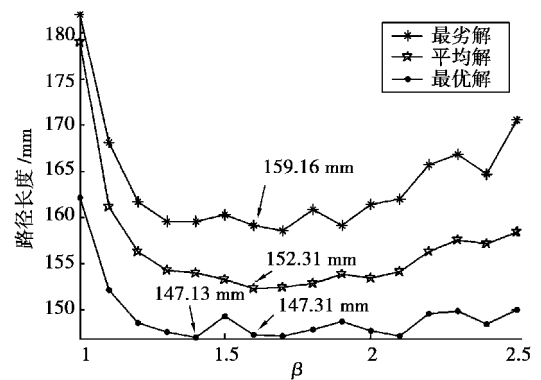


图 5 不同  $\beta$  值下的自适应邻域遗传算法空走长度

### 4 结 语

建立了激光加工中空行程路径优化的数学模型,并采用自适应邻域法和遗传算法相结合,有效地解决了激光加工空走路径优化问题。实验结果表明采用自适应邻域遗传算法比最近邻法进一步缩短了空行程行走时间,提高了激光加工效率。

#### 参考文献:

- [1] 刘会霞,王霄,蔡兰. 分层实体制造激光头切割路径的建模与优化[J]. 中国激光, 2004, 31(9): 1137-1142.  
LIU HUF XIA, WANG XIAO, CAI LAN. Modeling and optimizing laser torch path in laminated object manufacturing technology [J]. Chinese Journal of Lasers, 2004, 31(9): 1137-1142.
- [2] 张礼兵,吴婷,袁根福,等. 基于遗传算法的激光打孔路径优化[J]. 机电工程, 2007, 24(6): 77-79.  
ZHANGLIFBIN, WU TING, YUAN GEN-FU, et al. Path optimization on laser drilling based on genetic

- algorithm [J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2007, 24(6): 77-79.
- [ 3 ] 阮亮中,张利,吴超. 一种新的 TSP 问题环路构造算法及其在激光雕刻机路径控制中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(6): 1114-1118.
- RUAN LIANG-ZHONG, ZHANG LI, WU CHAO. A new tour construction algorithm and its application in laser carving path control [J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(6): 1114-1118.
- [ 4 ] JOHNSON D S, MCGEOCH L A. The traveling salesman problem: a case study in local optimization [M]// ARTS E H, LENSTRA J K. Local Search in Combinatorial Optimization. London: John Wiley and Sons, 1997: 215-310.
- [ 5 ] 高海昌,冯博琴,朱利. 智能优化算法求解 TSP 问题[J]. 控制与决策, 2006, 21(3): 241-247, 252.
- GAO HAI-CHANG, FENG BO-QIN, ZHU LI. Reviews of the meta-heuristic algorithms for TSP[J]. Control and Decision, 2006, 21(3): 241-247, 252.
- [ 6 ] ZHONG W L, ZHANG J, CHEN W N. A novel discrete particle swarm optimization to solve traveling salesman [C]// 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), Sept 25-28, 2007, Stamford, Singapore. [s. l.]: IEEE, 2007: 3283-3287.
- [ 7 ] HUNG D N, YOSHIHARA I, YAMAMORI K, et al. Implementation of an Effective Hybrid GA for Large-Scale Traveling Salesman Problems [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (Part B), 2007, 37(1): 92-99.
- [ 8 ] SAADATMAND-TARZIAN M, KHADEMI M, AKBARZADEH T, et al. A novel constructive-optimizer neural network for the traveling salesman problem [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (Part B), 2007, 37(4): 754-770.
- [ 9 ] XING L N, CHEN Y W, YANG K W, et al. A hybrid approach combining an improved genetic algorithm and optimization strategies for the asymmetric traveling salesman problem [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2008, 21(8): 1370-1380.
- [10] TEODOROVIC D. Swarm intelligence systems for transportation engineering: Principles and applications [J]. Transportation Research (Part C), 2008, 16(6): 651-667.
- [11] LUIS P, THOMAS S. Design and analysis of stochastic local search for the multi-objective traveling salesman problem [J]. Computers & Operations Research, 2009 36(9): 2619-2631.
- [12] GAJ PAL Y, ABAD P L. Multi-ant colony system (MACS) for a vehicle routing problem with backhauls [J]. European Journal of Operational Research, 2009, 196(1): 102-117.
- [13] 魏英姿,赵明杨,黄雪梅. 求解 TSP 问题的贪心遗传算法[J]. 计算机工程, 2004, 30(19): 19-20.
- WEI YING-ZI, ZHANG MING-YANG, HUANG XUE-MEI. A novel greedy genetic algorithm for traveling salesman problem[J]. Computer Engineering, 2004, 30(19): 19-20.
- [14] 莫海芳,康立山. 求解 TSP 的混合遗传算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(18): 40-41.
- MO HAI-FANG, KANG LI-SHAN. Hybrid genetic algorithm for traveling salesman problem[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(18): 40-41.
- [15] 谢胜利,唐敏,董金祥,等. 求解 TSP 问题的一种改进的遗传算法[J]. 计算机工程与应用, 2002(8): 58-60.
- XIE SHENGLI, TANG MIN, DONG JIN-XIANG, et al. An improved genetic algorithm for TSP problem [J]. Computer Engineering and Applications, 2002(8): 58-60.

(编辑 张小强)