

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.01.009

改进离散人工蜂群算法规划异形满版 服饰图案切割路径

丁 斌¹, 裘建新²

(1. 上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 201600; 2. 上海工程技术大学 服装学院, 上海 201600)

摘 要:服饰图案切割路径规划是服饰图案自动切割技术的关键部分之一。文中用改进的离散人工蜂群算法实现了激光切割系统对异形满版服饰图案的切割工艺路径规划优化。首先,把满版服饰图案激光切割路径规划转化为广义旅行商问题求解,证明了路径规划转化成普通 TSP 问题比转化成第一类广义 TSP 问题更为有效,并给出了路径规划中“图案始切割点”的优化选择方法。然后结合部分匹配交叉和启发式变异搜索方法的人工蜂群算法求解 TSP 问题,证明了与 A* 算法及遗传算法相比,该方法更为优越。并且该方法已应用于激光切割机切割异形满版服饰图案路径规划的生产实践,运行可靠,比未规划时的工艺路线平均提高效率 33.7%。该方法提供了一种解决 TSP 问题的新方法,具有一定的理论意义和价值。

关 键 词:服饰图案切割;人工蜂群算法;部分匹配交叉;启发式变异搜索;路径规划;激光切割

中图分类号:TS941.56;TP29;TP391

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2016)01-0037-06

Improved Discrete Artificial Bee Colony Algorithm Plans the Path of Laser Cutting for Full Version of Different Dress Patterns

DING Bin¹, QIU Jianxin²

(1. School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201600, China;

2. School of Fashion Engineering, Shanghai University of Engineer Science, Shanghai 201600, China)

Abstract: Planning the path of cutting dress patterns is one a key part of automatic cutting dress patterns technologies. In this paper, the improved artificial bee colony algorithm was used to plan the path of laser cutting system for the full version of different dress patterns. First, converted planning path for full version of different dress patterns to generalized TSP, and it was proved that transforming this problem into ordinary TSP was better than generalized TSP, and gave the optimization method to select "pattern start cutting point". And then combined partially matched crossover and mutation heuristic search of artificial bee colony algorithm to solve TSP. Finally, comparing with the A* algorithm and genetic algorithm this method was more advantageous. This method is used to plan the path for cutting full version of different patterns in apparel production practices, and it is reliable, the average efficiency increases 33.7 percent. This method provides a new method to solve TSP, and has a certain theoretical significance and value.

Key words: cutting dress patterns; artificial bee colony algorithm; partially matched crossover; heuristic mutation search; path planning; laser cutting

服饰图案与服装款式、色彩、材料同为服装的重要设计要素。传统方法只能手工裁剪制造好的印花、刺绣等服饰图案,在大批量工业化生产中,完全不能满足生产需求。本文将机器视觉、计算机数字图像处理与

激光切割加工技术结合起来,开发了服饰图案自动切割技术及装备^[1]。利用机器视觉获取待切割服饰图案,通过计算机数字图像处理,进行服饰图案模板匹配或寻边,再把切割参数传送到执行系统实施激光切割,

收稿日期:2015-08-08;修回日期:2015-10-20

基金项目:上海市科学技术委员会科研课题基金(11510501600);上海纺织控股(集团)公司技术创新项目基金(2012-X-11)。

作者简介:丁斌(1990),男,江苏宿迁人,硕士研究生,主要研究方向为机器视觉。E-mail:1178240168@qq.com

在此工步需要规划激光切割的路径,以求切割路径最优。

1 满版服饰图案激光切割路径规划转化为广义旅行商问题求解

采用激光切割方法切割已经加工好的服饰图案,需要把整版的异形或同形服饰图案依次逐个切割下来。激光头沿着计算机模板匹配或寻边得到的图案轮廓切割,每完成一个图案的切割,再移动激光头切割下一个图案,直到切割完所有图案。激光切割某个具体服饰图案所走的切割行程,长度是确定的;激光头从某个图案移动到下一个图案的路程为空行程,是不确定的,需要优化,要求其最短。

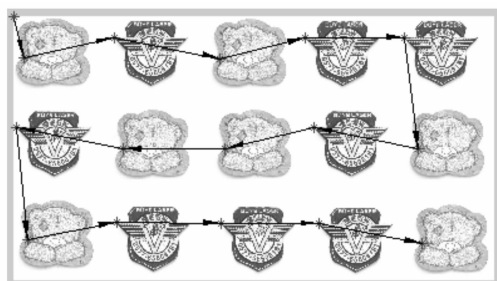
1.1 转化为普通 TSP 问题

设满版服饰图案左上方激光头初始位置为“切割路径起点”(图 1),每个具体服饰“图案始切割点”可选取图案轮廓上的拐点或普通轮廓点。将本文待解决的工程问题视为求解旅行商问题。把每个图案轮廓上选取的“图案始切割点”看作一个城市,每一个图案则对应一个城市,多个图案组成多个城市,和“切割路径起点”一起构成 TSP (Traveling Salesman Problem) 问题^[2],如图 1(a)所示。激光切割图案的路径规划为从“切割路径起点”出发,遍历所有城市,且每一个城市(服饰图案)只能经过 1 次,求所有路径之中的最短路径。需要注意的是:①本工程问题没有从终点再回到起点,但是原理上和 TSP 问题一致;②当同形服饰“图案始切割点”图案上的起始切割点的位置一致时(见图 1(a),同形图案的始切割点取为同一图形拐点),路径规划为普通 TSP 问题。

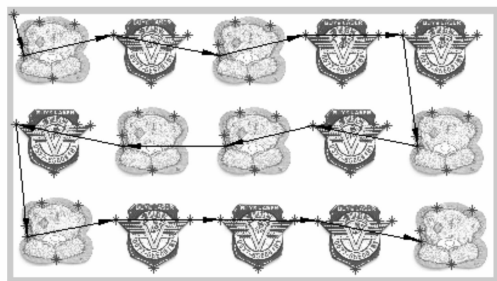
1.2 转化为第一类广义 TSP 问题

理论上,每个服饰图案上的起始切割点的位置也可以是不确定(不一致)的,同形图案的始切割点可以选在轮廓上其他任意不同位置,可能进一步优化切割路径。

然而,若把轮廓上所有点都看成待选的起始切割点,那么解空间将变得很大,优化搜索时间成倍增加,效率降低,所以,可以在轮廓上均匀选取 n 个点,如图 1(b)。若每个图案上选取 $n(n > 1)$ 个点,那么每个图案都能看作一个城市群,多个城市群构成了第一类广义 TSP 问题中的城市群。激光切割图案的路径规划就是:找 1 条路径,只能经过每个城市群 1 次,且只能访问其中 1 个城市,遍历所有城市群,要求这条路最短。同样,这里没有从终点再回到起点,但是原理上和第一类广义 TSP 问题一致。



(a) 普通 TSP 问题



(b) 第一类广义 TSP 问题

图 1 满版服饰图案激光切割路径规划
转化为广义旅行商问题求解

Figure 1 Convert planning path to the first class
of Generalized Traveling Salesman Problem

1.3 路径规划中诸“图案始切割点”的优化选择

如上述,路径规划可以转化成普通 TSP 问题或者第一类广义 TSP 问题。尽管理论上第一类广义 TSP 问题可能进一步优化切割路径,但是进一步的应用研究发现,第一类广义 TSP 问题比普通 TSP 问题复杂得多,优化算法复杂度过高,算法消耗时间长,且实际工程优化得到的结果并不比普通 TSP 问题得到的结果好,在后文实验中将给出相关证明。所以,本文把路径规划问题看成普通 TSP 问题求解。

2 改进离散人工蜂群算法求解 TSP 问题

如上所述,激光切割服饰图案的路径规划问题可以转化为求解 TSP 问题。求解 TSP 问题的方法有许多,可分为群智能算法和非群智能算法。群智能算法有:遗传算法^[3]、粒子群算法、蚁群算法等。非群智能算法有:Dijkstra 算法、弗洛伊德算法、A* 算法^[4]等。一般而言,群智能算法以其分布式、并行性及能够在没有全局模型的情况下得到较为满意的结果,其性能优于非群智能算法。本文的激光切割服饰图案路径规划求解,采用操作简单、设置参数少、鲁棒性高的群智能算法中的人工蜂群算法^[5]。

人工蜂群算法简称 ABC (artificial bee colony) 算法,是 2005 年提出的一种群智能优化算法^[6]。人工蜂群由 3 部分组成:采蜜蜂、观察蜂和侦察蜂。采蜜蜂和

观察蜂各占群体的一半,侦察蜂由放弃蜜源的采蜜蜂变成。每处蜜源对应1个采蜜蜂,每个蜜源代表优化问题的1个可行解,蜜源的好坏对应解的质量。寻优过程即是3种蜜蜂协作的过程,采蜜蜂把蜜源信息分享,观察蜂根据分享的信息选择合适的蜜源采蜜,经过若干次采蜜后,若蜜源质量下降,则该蜜源处的采蜜蜂放弃该蜜源,变成侦察蜂寻找新蜜源。3种蜜蜂协作最终找到最好的蜜源,求得优化问题的最优解。

TSP问题是离散优化问题,而不是连续优化问题,由于人工蜂群算法的搜索方程及侦察蜂的局部搜索公式中存在随机数 $\Phi_{i,j}$ 和 $\text{rand}(0,1)$,会产生不确定小数,故必须对人工蜂群算法做相应改进。本文结合遗传算法的自然数编码、部分匹配交叉和启发式变异3种方法改进人工蜂群算法的解空间,采用蜜蜂局部搜索策略和观察蜂局部搜索策略,形成一种离散的人工蜂群算法,使其能够解决TSP问题,完成路径规划。具体方法如下式:

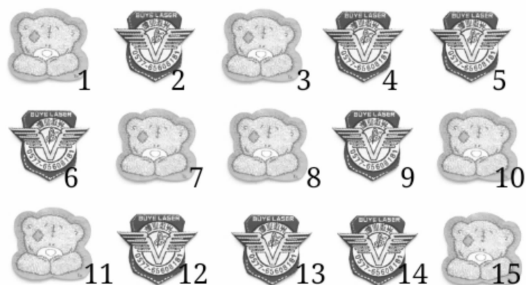
$$V_{i,j} = x_{i,j} + \Phi_{i,j}(x_{i,j} - x_{k,j}), \quad (1)$$

$$x_{i,j} = x_{\min,j} + \text{rand}(0,1)(x_{\max,j} - x_{\min,j}). \quad (2)$$

式(1)~(2)中, $V_{i,j}$ 表示新蜜源, $x_{i,j}$ 表示原蜜源, $x_{k,j}$ 表示 $x_{i,j}$ 领域内蜜源, $x_{\min,j}, x_{\max,j}$ 分别表示 $x_{i,j}$ 上下界。其中 i 表示第几个蜜源, j 表示该蜜源第 j 维。

2.1 自然数编码及搜索空间的确定

自然数编码简单直接反映所求问题的特征,无需解码,速度快,运算效率高。本文采用自然数编码描述整幅服饰中的图案排列(切割)顺序,如图2所示:一个编码唯一对应一种图案排列(切割)方式(路径),即对应一种解;不同编码代表各种路径,若干自然数编码组成解空间,即算法的搜索空间。



(a) 服饰图案

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

(b) 自然数编码

图2 异形满版服饰图案编码

Figure 2 Coding different dress patterns

2.2 采蜜蜂搜索策略

本文采用Goldberg和Lingle提出的部分匹配交叉PMX (partially matched crossover)方法^[7]进行采蜜蜂搜索。随机选取一个图案编码和当前编码,组成PMX操作对象。任选编码的2个位置为交叉点,定义2个交叉点之间的编码区域为匹配交叉区域,进行位置交叉操作,交换2个编码的匹配区域。如图3(a)所示,“编码一”为当前要更新的编码,“编码二”为随机选取编码,2个编码的黑色加粗区域为匹配交叉区域,将2个编码黑色加粗区域对应位置上的数字交换,得到:5→10、2→6、1→7、8→8、11→9、10→5。为了避免匹配交叉区域的数字与匹配交叉区域外的数字重复,将外部重复的数字依据匹配交叉映射关系逐一交换。如“编码一”中的7、6、9与“编码二”匹配交叉区域重复,分别用“编码一”匹配交叉区域与7、6、9对应的1、2、11交换。操作结果见图3(b)。

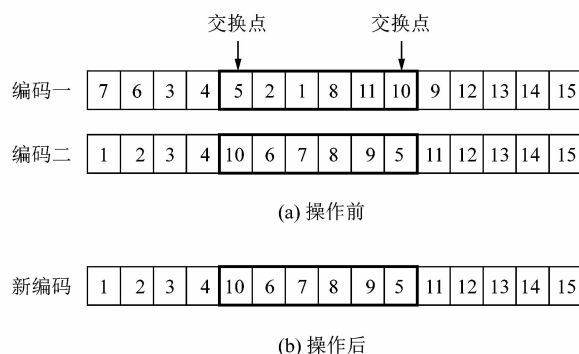


图3 PMX操作示例

Figure 3 Example for PMX

2.3 观察蜂局部搜索策略

采用启发式变异算子^[8]实现观察蜂的局部启发式变异搜索。在当前图案编码中随机选取3个位置,任意交换3个位置上的数得到5个不同编码,然后选择适应度值最好的更新当前编码(人工蜂群算法中的蜜源适应度值计算见式3)。示例见图4。

2.4 改进离散人工蜂群算法步骤

本文中把图案的自然数编码作为蜜源 x_i ,求出的路径长度作为目标函数值 $f(x)$ 。每个蜜源适应度值计算公式如下:

$$f_i = \begin{cases} \frac{1}{1+f(x_i)} & f(x_i) \geq 0 \\ 1+|f(x_i)| & f(x_i) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

观察蜂依据蜜源收益率在整个蜂群中所占的百分比 p_i 选择蜜源:

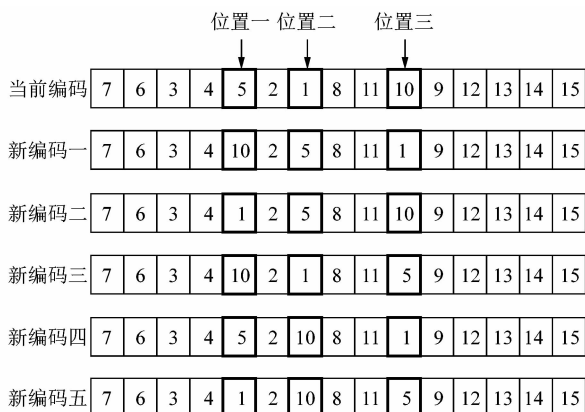


图4 启发式变异搜索示例

Figure 4 Heuristic mutation search

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^s f_i} \quad (4)$$

算法步骤如下:

Step1: 初始化。

Step1.1: 随机在搜索空间中生成 S 个解 x_i 形成初始种群。

Step1.2: 计算种群中个体的适应度值 $f(x_i)$ 。

Step1.3: 设置循环次数 P , 每个解的局部搜索限制次数 L 。

Step2: 采蜜蜂阶段。

采蜜蜂对种群中的解 x_i 局部搜索, 产生新的候选解 v_i , 计算适应度值 $f(v_i)$ 。若 $f(v_i)$ 大于原解 x_i 的适应度值 $f(x_i)$, 则用新解 v_i 替换原解 x_i , $l_i = 0$ (l_i 表示蜜源 x_i 被搜索次数), 否则 x_i 不变, l_i 加 1。采蜜蜂继续搜索和替换, 直到搜索完所有解。

Step3: 根据公式(4)计算概率值 p_i 。

Step4: 观察蜂阶段。

观察蜂用轮盘赌方法根据解的概率值 p_i 选择蜜源对应的解 x_i , 并对其进行局部搜索产生新解 v_i , 计算 $f(v_i)$, 若 $f(v_i)$ 大于 $f(x_i)$, 则用 v_i 替换 x_i , $l_i = 0$, 否则 x_i 不变, l_i 加 1。

Step5: 侦察蜂阶段。

若 $\max(l_i) \geq L$, 则产生一个新蜜源即新解。

Step6: c 加 1。若 $c \geq P$, 则结束算法, 输出最优解, 否则转 Step2。

3 实验与分析

本文采用 VC++ 编程, 用 4 幅满版服饰图案为实验对象(图 5), “切割路径起点”设在整幅图案左上角, 4 幅图案中相同图案的“图案始切割点”相同。

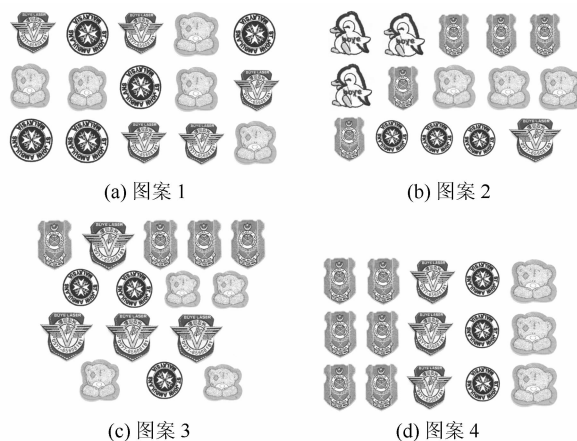


图5 实验图案

Figure 5 Experimental patterns

3.1 普通 TSP 问题和第一类广义 TSP 问题的优化方法比较

求解普通 TSP 问题: 采用本文的改进离散人工蜂群算法。

求解第一类广义 TSP 问题: 以本文的改进离散人工蜂群算法为主体算法, 结合最短路径算法(分别为动态规划法、最近邻法和 A* 算法)组成二级寻优过程。把最短路径算法看成人工蜂群算法里的优化函数 $f(x)$, 自变量为城市群编码, 找出在城市群排列顺序确定情况下的局部最优路径; 然后利用改进离散人工蜂群算法进行精确搜索迭代, 完成哪一种城市群排列方式为全局最优路径的任务。

人工蜂群算法的参数为: 初始种群数 $S = 100$, 循环次数 $P = 50$, 局部搜索次数 $L = 60$ 。实验结果如表 1 所示。

表1 普通 TSP 问题和第一类广义 TSP 问题的优化比较

Table 1 Comparison of the results optimized independently by Traveling Salesman Problem and the first class of Generalized Traveling Salesman Problem

算法	路径长度/像素				算法平均耗时/s
	实验 1	实验 2	实验 3	实验 4	
普通 TSP	2 913.4	2 403.1	2 296.5	2 349.7	1.12
第一类广义 TSP(结合动态规划法)	8 193.9	6 505.7	5 743.5	5 911.3	4.17
第一类广义 TSP(结合最近邻法)	8 856.6	6 866.1	5 949.0	6 782.7	2.51
第一类广义 TSP(结合 A* 算法)	8 500.5	6 952.7	5 928.5	6 519.2	8.38

从表1中可见,求解普通TSP问题得到的路径长度要比第一类广义TSP问题得到的路径短很多;耗时少,效率高。综合这2点,采用求解普通TSP问题来规划激光切割异形满版服饰图案路径是可行的。

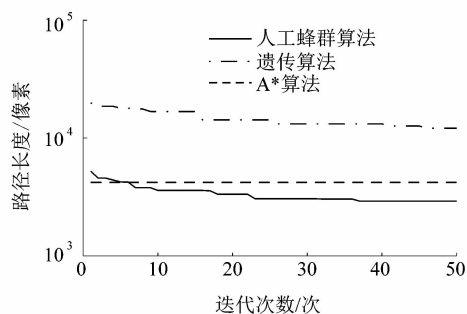
3.2 改进离散人工蜂群算法和A*算法及遗传算法的优化方法比较

本文进一步采用不同算法,求解激光切割路径规划转化为普通TSP的工程问题。实验设计:从非群智能算法和群智能算法中各选一种算法(分别采用了文献[9]运用过的启发式A*算法和遗传算法),与本文的改进离散人工蜂群算法作比较。实验结果见表2与图6~9。

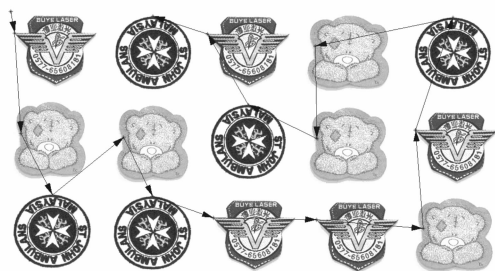
表2 改进离散人工蜂群算法和A*算法及遗传算法的优化比较

Table 2 Comparison of the results optimized independently by improved discrete ABC algorithm, A* algorithm and Ge algorithm

算法	路径长度/像素				算法平均 耗时/s
	实验1	实验2	实验3	实验4	
改进离散人工蜂群	2 913.4	2 403.1	2 296.5	2 349.7	1.12
A*算法	4 196.2	3 254.5	3 496.8	3 487.4	0.88
遗传算法	12 096.0	9 096.4	8 899.6	8 505.9	0.96



(a) 最短路径变化折线

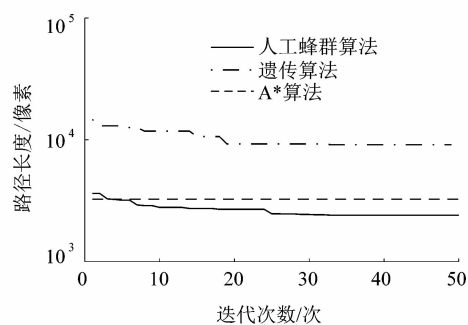


(b) 最短路径

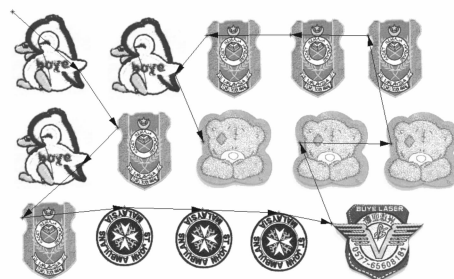
图6 实验1

Figure 6 Test one

从表2及图6~9中可以看出,在循环代数 and 种群规模相同情况下,与遗传算法相比,改进离散人工蜂群



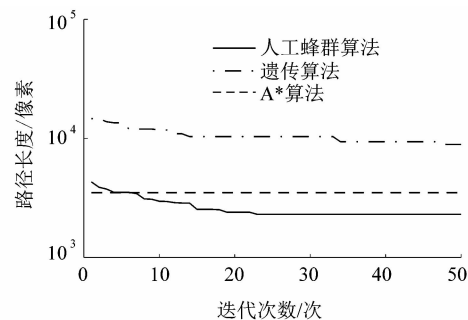
(a) 最短路径变化折线



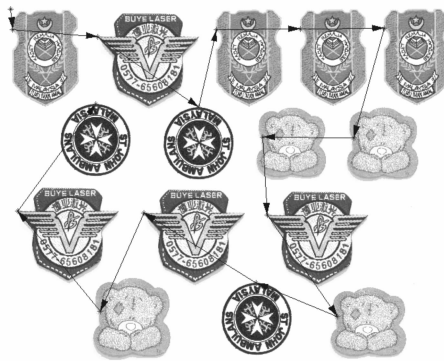
(b) 最短路径

图7 实验2

Figure 7 Test two



(a) 最短路径变化折线

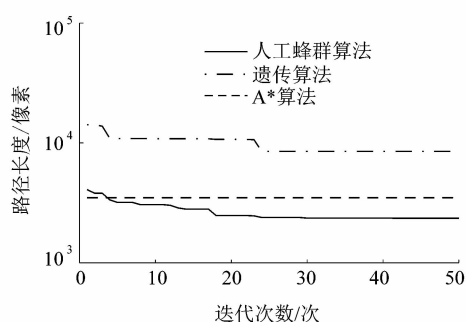


(b) 最短路径

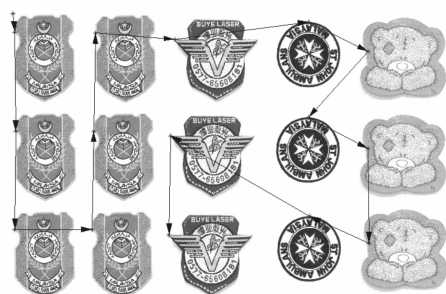
图8 实验3

Figure 8 Test three

算法得到的优化路径比遗传算法搜索到的路径要短若干倍,消耗时间基本相当,本文方法明显优于遗传算法;与A*算法相比,由于本文方法结构和算法内容较



(a) 最短路径变化折线



(b) 最短路径

图9 实验4

Figure 4 Test four

A*算法复杂,算法计算时间略多,但本文方法搜索的路径长度优于A*算法很多。对比实际生产切割耗时,算法计算耗时可以忽略不计。

实验及工程实践证明,采用改进离散人工蜂群算法规划异形满版服饰图案切割路径要优于其他算法,效率比未规划时的工艺路线平均提高33.7%。图10为激光切割机采用VC编程优化路径规划切割异形满版服饰图案的工作情形。

4 结论

针对工程实际中的难题,文章在基本人工蜂群算法基础上结合自然数编码法和部分匹配交叉法形成离散人工蜂群算法,提出了一种解决TSP问题的新方法,解决了工程实际难题。该方法能够解决服饰图案激光切割路径规划问题,实现切割路径的自动生成,保



图10 激光切割机切割异形满版服饰图案

Figure 10 Laser cutting machine is cutting the full version of different patterns

证路径最优,提高了生产加工服饰图案的自动化效率。同时,研究证明了与A*算法及遗传算法相比,无论在效率上还是优化结果,本算法都具有较大优势,具有一定的理论意义和价值。

参考文献:

- [1] 高飞,裴建新,李健.服饰图案的机器视觉自动寻边切割技术[J].轻工机械,2014,32(1):48-53.
- [2] 谭阳.求解广义旅行商问题的若干进化算法研究[D].广州:华南理工大学,2013:1-4.
- [3] HOLLAND J H. Adaptation in nature and artificial systems[M]. Ann Arbor, Michigan: Michigan University of Michigan Press, 1975.
- [4] 王红卫,马勇,谢勇.基于平滑A*算法的移动机器人路径规划[J].同济大学学报(自然科学版),2010,38(11):1647-1655.
- [5] 王艳娇.人工蜂群算法的研究与应用[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2013:16.
- [6] KARABOGA D, AKAY B. A comparative study of artificial bee colony algorithm[J]. Applied mathematics and computation, 2009, 214(1):108-132.
- [7] 任昊南.用遗传算法求解TSP问题[D].济南:山东大学,2008:16.
- [8] 张晓玲,做过超,杨健.用一种含启发式变异策略的遗传算法求解TSP[J].计算机应用与软件,2010,27(3):237-240.
- [9] 王卫翼,张秋菊,陈中杰.基于图像处理和改进A*算法的激光切割路径生成方法[J].现代制造工程,2014,1(10):95-99.