

# 基于遗传算法的结构光条纹中心检测方法

李和平, 李德华, 朱 洲, 薛雷

(华中科技大学人工智能研究所 图像信息处理与智能控制教育部重点实验室, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 为提高结构光三维信息获取系统的精度, 提出了一种激光条纹中心检测算法。该算法基于遗传算法并具有优化图像阈值选取的性能, 可以很好地分割激光条纹。利用图像处理和方向模板的方法, 在激光条纹的基础上进一步提取激光中心线。实验表明在合理选择遗传算法的交叉率和变异率的情况下, 能够准确有效地获取结构光条纹中心, 满足系统精度的要求。

**关键词:** 图像处理; 结构光; 遗传算法; 方向模板

**中图分类号:** TP391. 4 **文献标识码:** A

## Detection of structured light strip center line based on genetic algorithm

LI He-ping, LI De-hua, ZHU Zhou, XUE Lei

(State Education Commission Key Laboratory for Image Processing and Intelligent Control, Institute for Artificial

Intelligence of Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** A way of detecting the structured light strip center line based on genetic algorithm, which is capable of optimizing the selection of image threshold value and accurately segmenting the light strip from the laser image, is proposed to improve the accuracy of the structured light 3D information acquisition system. The laser center line is further detected from the laser stripe through data processing and using alterable detection templates. Experimental results show that, with the adaptive rate of crossover and aberrance properly selected for genetic algorithm, the structured light strip center line can be accurately acquired to satisfy the system accuracy requirement.

**Key words:** image processing; structured light; genetic algorithm; direction template

## 1 引言

三维激光彩色扫描仪 (Three-Dimensional Laser Color Scanner, 简称 3DLCS) 是一种在激光三角测量法的基础上研制成功的三维信息获取系统, 该系统一项非常重要的任务就是激光条纹中

心的提取。激光条纹中心提取的准确性直接影响系统的测量精度。在获取图像的过程中, 由于外界环境以及 CCD 相机产生噪声<sup>[1]</sup>的影响, 实际获得图像中的激光条纹并不完全服从高斯分布, 而是在高斯曲线的基础上出现了很多毛刺, 从而给激光条纹中心的提取带来了很大困难。国内一些研究人员对此进行了很多研究。文

收稿日期: 2003-10-29; 修订日期: 2003-11-30.

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 69775022); “863” 计划 (863-306-ZI04-06-3)

献 [2] 提出了一种基于图像处理的激光中心实时滤波算法, 该算法通过搜索和中值滤波的方法得到了激光条纹的区域, 但这种方法受噪声的影响很大, 精度受到影响; 文献 [3] 利用自适应阈值法, 提高了获取激光条纹中心的精度, 但阈值是通过最大阈值减去下浮阈值得到的, 而下浮阈值受人为主观因素的影响, 往往很难得到最佳阈值; 文献 [4]、[5] 使用模板检测激光中心线的方法解决了补断的问题, 但对较长的断线不起作用。

本文根据具有显著提高原有图像阈值选取方法的性能的遗传算法 (Genetic Algorithm, GA), 并结合图像处理、方向模板和人机交互, 提出一种基于遗传算法的结构光条纹中心提取方法。该方法避免了上述方法的缺点, 利用遗传算法获取最佳阈值, 准确分割出激光条纹, 通过方向模板和人机结合方式, 精确地提取激光线, 并对较长的断线实现较好的修复。

## 2 遗传算法的基本原理

按照达尔文的自然选择理论, 生物进化取决于个体间的生存竞争, 对环境适应度高的个体继续生存, 适应度低的个体被淘汰。遗传算法正是模仿了这一生物进化原理, 并充分利用了随机统计原理而形成的。在求解过程中, GA 从一个变量群体开始一代一代的寻优, 是一种迭代式算法。

典型的遗传算法流程主要有以下几步<sup>[6-7]</sup>:

- (1) 染色体编码: 定义问题的解空间到染色体编码空间的映射;
- (2) 初始化种群: 在一定的限制条件下初始化种群, 该种群是解空间的一个子空间;
- (3) 设计适应度函数: 将种群中的每个染色体解码成适于计算适应度函数的形式, 并计算其数值;
- (4) 设计算子: 确定种群中每个染色体的繁殖概率值, 并通过专门的遗传算子实现种群的世代更替;
- (5) 判断停止: 如果进化生成到一个合适的解, 或者计算时间达到限定的上界 (繁殖到限定的代数), 或者种群中所有个体的适应度不再变化, 则算法停止, 否则返回到步骤 (3)。

GA 具有全局搜索能力, 是一种迭代式的优化算法<sup>[8]</sup>。这种迭代是从一组解迭代到另一组

解, 而不是普通的从一个解到另一个解, 这样可以避免陷入局部最小点, 又可尽快达到最优。

## 3 基于 GA 的激光中心线提取方法

在 3DLCS 中, 通过 CCD 相机获取一系列结构光条纹图像。在这些图像中, 由于噪声和表面漫反射的影响, 每幅图像中的激光条纹的明暗程度有所变化, 同时激光打在物体上是一条红色的条纹, 该条纹上像素的红色分量明显高于非激光条纹区域上像素的红色分量。根据这些特征, 可以通过遗传算法, 对像素的红色分量自动选择最佳阈值, 分割出激光条纹。在此基础上, 通过方向模板和人机结合的方式提取激光条纹的中心。具体流程见图 1。

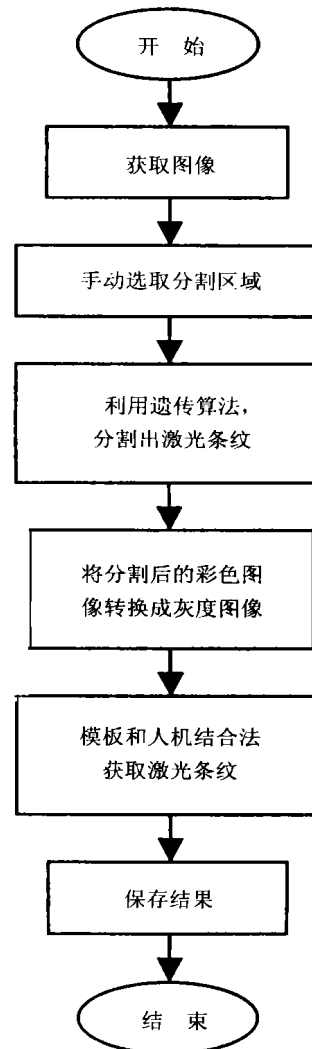


图 1 激光条纹中心提取流程

Fig. 1 Flow for obtaining the center of laser stripe

## 4 基于 GA 的激光中心线提取的具体步骤

### 4.1 选取分割区域

在 3DLCS 中, 通过物体旋转, 相机和激光器均以静止不动的方式扫描物体, 所以激光条纹总是在图像中的一个区域内 (即被扫物体图像范围内), 为了减少后续处理的运算量, 提高遗传算法分割激光条纹的速度和可靠性, 可以在分割处理之前, 人为地选取分割区域 (见图 3 (a) 所示虚线区域)。

### 4.2 激光条纹的提取

文献 [3] 采用连续两帧 (一帧有激光, 一帧无激光) 图像相减的方法获取激光条纹, 这种方法有两个无法避免的缺点: (1) 相减后的激光条纹发生了一定量的偏移; (2) 若物体表面某处不可导, 则该处将得不到激光条纹。若仅在激光条纹的图像上获取激光条纹, 就可以避免上述缺点。然而用一般的分割方法又很难从一幅图像中分割出激光条纹。由于激光条纹“颜色的特殊性”, 可以通过遗传算法自动选取颜色阈值的分割方法获取激光条纹。遗传算法获取阈值的具体步骤如下:

步骤 1 编码。在 (0, 255) 内随机产生  $N = 8$  个数  $Y_{11} \sim Y_{18}$ , 分别按二进制进行编码, 作为初始种群;

步骤 2 计算群体中各个体的适应度值。适应度函数的选择有很多种方法。文献 [9] 提出了一种类间方差的计算公式, 即:

$$f(i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (u_1(i) - u_2(i))^2, \quad (1)$$

式中:  $i$  为 0 ~ 255 之间的一个候选阈值;

$u_1(i)$  为像素红色分量的灰度值在  $i$  以下的像素数目;

$u_2(i)$  为像素红色分量的灰度值在  $i$  以上的像素数目;

$u_1(i)$  为像素红色分量的灰度值在  $i$  以下的所有像素红色分量的平均灰度值;

$u_2(i)$  为像素红色分量的灰度值在  $i$  以上的所有像素红色分量的平均灰度值。

通过式 (1) 计算群体中各个体的适应度值  $f(Y_{11}) \sim f(Y_{18})$ , 算出所有适应度值的总和  $f$ 。

步骤 3 利用转轮法选择繁殖个体。在 0 ~  $f$  间, 产生 8 个随机数  $r_i (i = 1, 2, \dots, 8)$ 。将适应度值从  $f(Y_{11})$  开始累加, 直到和刚好不小于  $r_i$  时最后加入的个体即为被选择的个体。重复操作 8 次就可得到用于繁殖的个体  $Y_{11} \sim Y_{18}$ ;

步骤 4 交叉。在  $Y_{11} \sim Y_{18}$  中分别以相同的概率选出 2 个个体, 按照已设定的概率  $C$  进行交叉重组, 重复以上操作, 便可得到新群体  $Y_{11} \sim Y_{18}$ ;

步骤 5 变异。以事先设定好的变异概率  $M$ , 随机选择  $Y_{11} \sim Y_{18}$  中的一个个体, 对该个体中的任意一位取反 (即相应位为 1 的变为 0, 为 0 的变为 1), 这样就得到了新一代群体  $Y_{11} \sim Y_{18}$ ;

步骤 6 判定。当迭代次数达到给定的次数或者新一代群体的平均适应度值与上一代平均适应度值之比在  $v$  与  $w$  之间时, 停止 GA 计算, 否则转向步骤 3;

步骤 7 选择最优结果。将最后一代中适应度值最大的个体取反编码, 即得到全局最优阈值  $t$ ;

步骤 8 确定激光带最佳阈值。令  $d_{\min} = t - 20$ ,  $d_{\max} = t + 20$  在  $(d_{\min}, d_{\max})$  区域内利用公式 (1) 进行一次局部搜索, 得到阈值  $t^1$ ;

步骤 9 分割。根据阈值  $t^1$  将激光带分割出来。

实验表明, 该方法能有效地分割出激光条纹 (见图 3 (b))。

### 4.3 获取灰度图

为了后续处理方便, 将分割后的图像  $S$  利用公式 (2) 转化为灰度图  $Y$ :

$$Y(u, v) = rR_s(u, v) + gG_s(u, v) + bB_s(u, v) \quad (u = 0, 1, 2, \dots, n; v = 0, 1, 2, \dots, m), \quad (2)$$

其中,  $n$  为图像行数,  $m$  为图像列数,  $u, v$  分别表示当前像素是在第  $u$  行、第  $v$  列。 $r, g, b$  为混色系数, 根据结构光颜色的特殊性, 可以近似取  $r = 0.6, g = 0.2, b = 0.2$ 。

### 4.4 模板和人机结合法提取中心线

方向模板法<sup>[4,5]</sup>是从重心法的思想发展而来的。虽然提出了一些基本的原则, 但因约束条件较强, 只能对 20 个像素以内的断处进行修复, 对超过这一范围的断线, 修复效果不佳, 同时也不能判断断处是否处在激光线上。

针对上述问题, 提出了模板与人机结合的方

法。过程如下: 首先通过方向模板法提取激光中心线, 然后对比有激光图像  $L$  与对应的激光中心线, 判断是否出现了断线, 若出现, 则在图  $L$  上人为地划取一条反映激光范围和方向的线 (如图 2

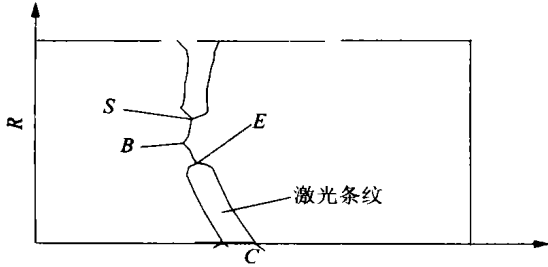


图 2 选择断线区域示意图

Fig. 2 Sketch map of selecting broken-line area

所示: 线  $SBE$  即为人划取的线, 其中点  $B$  是方向变化点)。接着利用 3 个  $5 \times 7$  的窗口 (a) (b) (c) 对对应的激光条纹进行修复, 最后再用模板法提取中心线。

$$\frac{1}{15} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(a)

$$\frac{1}{15} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(b)

$$\frac{1}{15} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(c)

在激光条纹的修复过程中, 先判断方向, 根据方向选择窗口。实验表明, 对处在激光条纹中间的断处仅从一个方向 (如: 仅从上至下, 或仅从下至上) 修复, 断处末端的准确性不高, 而同时从上下两个方向进行, 效果较好。基于这个事实, 以图 2 所示为例, 断线  $SB$  从点  $S$  的前一行开始, 以该行前一行的行宽作为当前行的激光带宽

度, 并均匀分布在线  $SB$  的两边, 利用窗口 (c) (其中窗口中 (5, 2) 处为当前像素对应的位置, 用公式 (3) 计算像素值) 进行修复; 同时断线  $EB$  从点  $E$  开始, 以该行下一行的行宽作为当前行的激光带宽, 利用窗口 (a) (其中窗口中 (1, 2) 处为当前像素对应的位置, 用公式 (4) 计算像素值) 进行修复。若仅出现垂直方向的断线, 可以利用窗口 (b) 同时从两个方向进行恢复 (对于从上而下的情况, 窗口 (1, 4) 处为当前像素对应的位置, 用公式 (5) 计算像素值; 对于从下而上的情况, 窗口 (5, 4) 处为当前像素对应的位置, 用公式 (6) 计算像素值)。

$$H_j = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N K[m][n] \times Q[i - 2 + m][j - 5 + n], \quad (3)$$

$$H_j = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N K[m][n] \times Q[i - 2 + m][j - 1 + n], \quad (4)$$

$$H_j = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N K[m][n] \times Q[i - 4 + m][j - 1 + n], \quad (5)$$

$$H_j = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N K[m][n] \times Q[i - 4 + m][j - 5 + n], \quad (6)$$

其中,  $M = 7, N = 5$ ;  $K[m][n]$  为窗口  $(m, n)$  处的值;  $Q[i - 2 + m][j - 5 + n]$ 、 $Q[i - 2 + m][j - 1 + n]$ 、 $Q[i - 4 + m][j - 1 + n]$ 、 $Q[i - 4 + m][j - 5 + n]$  分别为  $(i - 2 + m, j - 5 + n)$ 、 $(i - 2 + m, j - 1 + n)$ 、 $(i - 4 + m, j - 1 + n)$ 、 $(i - 4 + m, j - 5 + n)$  处的像素值。

在实际过程中, 这种长断线区域往往不是很多, 因此在提高提取效果的前提下, 加入人机交互是能接受的。

## 5 实验结果

图 3 是实验的结果。从图 3 中的 (c) (d) (e) (f) 4 图可以看出: (d) 图中, 采用传统的方法, 受噪声影响强烈, 弱反射区 (如头发部分) 和耳朵处的断处均没有得到修复; (e) 图中

仅采用方向模板法,使较小的断处得到了较好的修复,而图像较大的断处(如头发)没有得到修复,同时也受到一定噪声的影响;(c)图中,采用遗传算法(其中交叉率  $C = 0.8$ ,变异率  $M = 0.02$ ,  $v = 1.0$ ,  $w = 1.001$ )、方向模板和人机交互结合的方法,增强了抗噪声的能力,所有断处均得到很好的修复;从(f)图可以体现出取得的中心线有很高的精度。

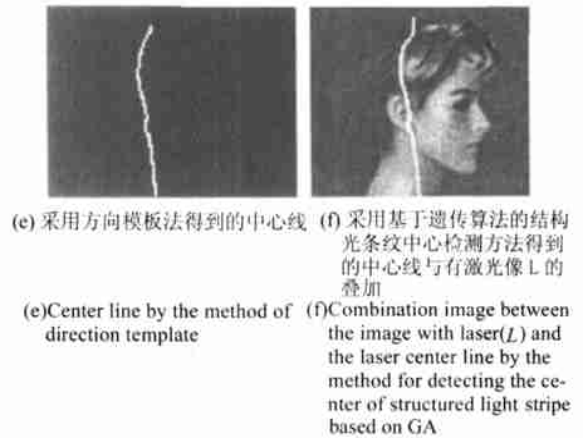
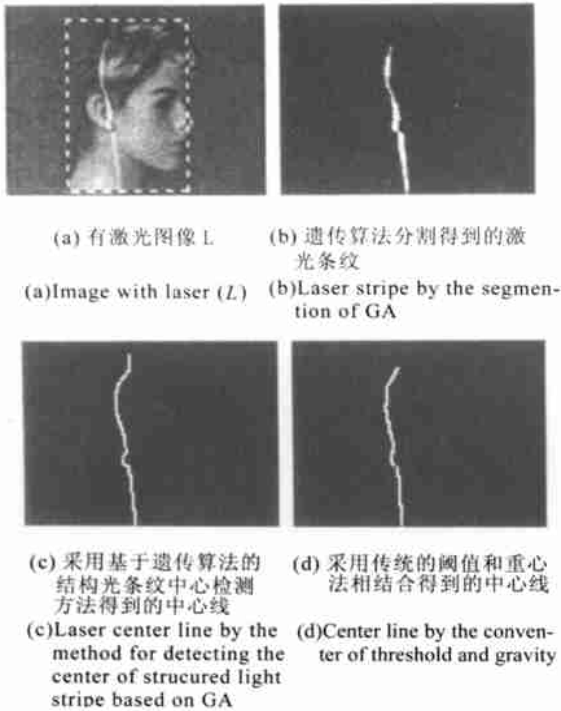


图 3 基于遗传算法激光中心线提取结果

Fig. 3 Broken line is drawn by on GA

## 6 结 论

本文提出了一种结构光条纹中心的检测方法,该方法利用人工选择处理的区域,有效地降低了后续处理的计算量;利用遗传算法,自动进行阈值的选择,较好地分割出激光条纹,增强了抗白噪声能力;利用方向模板法与人机交互的方式很好地实现了断线的修补。实验结果表明,基于遗传算法的结构光条纹中心检测方法能够准确地提出结构光中心线,得到满意的结果。这种方法也适用于其他纹理图像的分割和特征提取。

### 参考文献:

- [1] 佟首峰, 阮锦, 郝志航. CCD 图像传感器降噪技术的研究 [J]. 光学 精密工程, 2000, 8 (2): 140-145.  
TONG SH F, RUAN J, HAO ZH H. Noise reducing scheme on output signal of CCD [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2000, 8 (2): 140-145 (in Chinese).
- [2] 邓春梅, 王平江. 基于图像处理的激光条纹中心实时滤波算法 [J]. 华中理工大学学报, 1999, 27 (8): 10-12.  
DENG CH M, WANG P J. An accurate real time filtering algorithm for calculating laser center based on image processing [J]. *Huazhong University Press*, 1999, 27 (8): 10-12. (in Chinese).
- [3] 吴剑波, 崔振, 赵宏, 等. 光刀中心自适应阈值提取法 [J]. 半导体光电, 2001, 22 (1): 62-64.  
WU J B, CUI ZH, ZHAO H, et al. An adaptive threshold method for light-knife center acquisition [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2001, 22 (1): 62-64. (in Chinese)
- [4] 雷海军, 李德华, 王建永, 等. 一种结构光条纹中心快速检测方法 [J]. 华中科技大学学报, 2003, 31 (1): 74-76.  
LEI H J, LI D H, WANG J Y, et al. A method for fast detecting the center of structured light strip [J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology*, 2003, 31 (1): 74-76. (in Chinese)
- [5] 胡斌, 李德华, 金刚, 等. 基于方向模板的结构光条纹中心检测方法 [J]. 计算机工程与应用, 2002, 38 (11): 59-60.  
HUB, LI D H, JIN G, et al. New method for obtaining the center of structured light stripe by direction template [J].

*Computer Engineering and Applications*, 2002, 38 (11): 59-60. (in Chinese)

- [6] 章毓晋. 图像分割 [M]. 北京: 科学出版社, 2001. 103-107.  
ZHANG YJ. *Image Segmentation* [M]. Beijing: The Press Inc. of Science, 2001. 103-107. (in Chinese)
- [7] FOGEL D B. An introduction to simulated evolutionary optimization [J]. *IEEE-NN*, 1994, 5 (1): 3-14.
- [8] 樊叔维, 张兴志. 全局优化算法自适应模拟退火-遗传算法的研究 [J]. 光学 精密工程, 1999, 7 (4): 16-21.  
FAN SH W, ZHANG X ZH. Research for the overall optimized algorithm based on adaptive simulated annealing-genetic algorithm [J]. *Optics and Precision Engineering*, 1999, 7 (4): 16-21. (in Chinese).
- [9] 郑宏, 潘励. 基于遗传算法的图像阈值的自动选取 [J]. 中国图象图形学报, 1999, 4 (4): 327-330.  
ZHENG H, PAN L. The automatic selection of image threshold on the basis of genetic algorithms [J]. *China Journal of Image and Graphics*, 1999, 4 (4): 327-330. (in Chinese)

作者简介: 李和平 (1978 - ), 男, 湖北人, 华中科技大学人工智能研究所 (图像识别与人工智能研究所教育部重点实验室) 硕士研究生, 主要研究方向为模式识别、计算机视觉、图像处理和智能系统; E-mail: lhpjerry@163.net

李德华 (1946 - ), 男, 广东人, 华中科技大学人工智能研究所 (图象识别与人工智能研究所教育部重点实验室) 教授、博士生导师, 主要研究方向为模式识别、人工智能、智能控制和思维科学。

## 可控照明有助于精确的紫外固化

Moritex 欧洲公司现已开发出一种程控反馈紫外光源。这种新型程控反馈紫外光源具有通用的功率输入的特点。采用专利光学反馈控制技术使石英卤素灯的紫外辐照极其稳定。利用独特光源的反馈输入可以精确地控制紫外辐照的功率水平。紫外光的强度可以通过程控达到恒定的水平、阶跃式增长或实现间歇式脉冲辐照。

这种程控光源适于优化紫外固化, 亦可应用于等离子体/液晶显示器密封、光纤/套筒接合以及透镜和棱镜的连接。

Moritex 石英卤素灯在较高的色温 (>3000K) 下输出稳定。与白炽灯相比, 其使用寿命长 (500~2000h)。光源设计所要求的安全性和可靠性使其具有高度抗热冲击性能。

Moritex 光源设计紧凑, 可以通过人工控制、模拟或数字信号进行遥控。该光源具有操作安全、性能可靠的特点。通过监控骤增电流、灯的异常现象和高温, 能确保使用 Moritex 光源的操作者在每一次使用时获得可靠和稳定的光输出。

该公司还生产一系列不同功能、各种尺寸和强度的高稳定性的安全光源。(www.moritex.com)