

# 基于遗传算法的三维重构图像阈值分割

张金龙, 赵芙生

(南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

**[摘要]** 图像阈值分割是三维重构中图像处理的一个重要内容. 最佳熵阈值的图像分割具有很多优点, 但同时也需要大量的运算时间, 从而限制了其实际应用. 将遗传算法应用于最佳熵阈值的确定中, 提出一种新的图像阈值分割方法, 以灰度图像的直方图熵作为评价标准, 把图像阈值分割问题定义为一个优化问题, 利用遗传算法寻优的高效性, 搜索到能使分割质量达到最优的分割参数——图像分割阈值. 实验结果表明, 采用遗传算法不仅可以实现正确的图像分割, 而且使得分割速度大大提高.

**[关键词]** 遗传算法, 图像分割, 分割阈值, 三维重构

**[中图分类号]** TP273 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-1292-(2005) 01-0005-03

## Image Threshold Segmentation of 3D Reconstruction Based on Genetic Algorithm

ZHANG Jinlong ZHAO Fusheng

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Jiangsu Nanjing 210042, China)

**Abstract** Image threshold segmentation is of important significance for image processing of 3D reconstruction. The optimal entropy thresholding algorithm has many advantages in the use of the image segmentation, but it needs a lot of computational time, thus limits its practical application. This paper applies the genetic algorithm in determining the optimal entropy threshold and presents a new approach of image threshold segmentation. Entropy of histogram of gray-level images is taken as the segmentation criteria and the problem of image threshold segmentation is formulated as an optimal problem. The efficiency of genetic algorithm searching ensures the best segmentation parameter——image segmentation threshold. The experimental results show that the genetic algorithm not only achieves the right image segmentation but also greatly improves the segmenting speed.

**Key words** genetic algorithm, image segmentation, segmentation threshold, 3D reconstruction

## 0 引言

基于面结构光投影法的三维物体形状检测和物像重构技术中, 利用目标物体、投影点和观察点在空间的三角关系, 建立反映投影光栅畸变条纹与物体表面形状对应关系的数学模型, 其流程包括向被测物体投射结构光栅条纹、读入被测物体图像数据、处理并分析读入图像、结合其他测量参数得出三维物体的形状与坐标等步骤. 其中, 图像分割是各项图像处理中的重要环节, 它的精确度直接影响到其后的细线化处理与最终的三维重建图像质量.

本文提出了一种基于遗传算法的最佳熵图像阈值分割方法, 利用遗传算法寻优的高效性, 搜索

到能使分割质量达到最优的分割参数——图像分割阈值, 实验结果表明, 该算法具有强的鲁棒性和自适应性, 可缩短寻找阈值的时间, 并有利后续的计算处理.

## 1 三维检测与物像重构原理

基于结构光投影法的三维物体形状检测和物像重构原理如图 1 所示, 目标物、投影点、观察点成三角关系, 当用基准光栅条纹投影到目标物时, 可以从投影光轴正上方观测到由于物体形状凹凸而产生的畸变条纹, 这种畸变是投影的基准光栅条纹受物体表面形状的调制所致, 故包含了物体表面形状的三维信息, 通过建立反映畸变条纹与物体表面

收稿日期: 2004-03-24

基金项目: 江苏省高校自然科学基金资助项目(04KJB510073).

作者简介: 张金龙(1965-), 博士研究生, 副教授, 主要从事自动化检测技术的教学与研究. E-mail: ZJL0310@163.com

形状之间对应关系的数学模型,便可从畸变后的条纹推断出物体表面形状. 畸变条纹由 CCD 摄像机输入计算机,经分析处理后可重建物体图像.

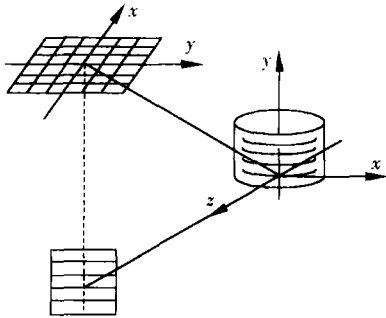


图 1 结构光投影法原理图

2 最佳熵图像阈值分割

图像阈值分割是把图像视为具有不同灰度级的两类区域(目标和背景)的组合,选取一个合适的阈值,以确定图像中每一个像素点应该属于目标还是背景区域,从而产生相应的二值图像. 设原始灰度图像为  $f(x, y)$ , 以一定的准则在  $f(x, y)$  中找出一个灰度值  $t$  作为阈值, 将图像分割为两个部分, 则分割后的二值图像  $g(x, y)$  为:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq t \\ 0 & f(x, y) < t \end{cases} \quad (1)$$

在图像分割处理中,通常采用灰度统计直方图的方法,例如在双峰法中,分割阈值取在图像直方图双峰之间的谷底,但在很多情况下,直方图并不呈现双峰,而是多峰或是峰谷不明显,为了解决这些情况下的阈值求取问题,基于灰度直方图熵的分割算法已被广泛采用,本文采用了 K apu r提出的最佳熵法(KSW 熵法)<sup>[12]</sup>,该方法不需要先验知识,而且对于非理想双峰直方图也可以进行较好的分割. 当把信息论中的 Shannon熵概念用于图像分割时,测量灰度直方图的熵,由此找出最佳值,其出发点是使图像中目标与背景分布的信息量最大.

2 1 单阈值分割

根据 Shannon熵的概念,对于灰度范围为  $\{i = 0, 1, \dots, l-1\}$  的图像直方图,其直方图的熵定义为<sup>[3]</sup>:

$$H = - \sum_{i=0}^{l-1} p_i \ln p_i \quad (2)$$

式中,  $p_i$  为第  $i$  个灰度出现的概率. 设阈值  $t$  将图像划分为目标 A 和背景 B 两类,则这两类的概率分布分别为:

A:  $\frac{p_1}{P_t}, \frac{p_2}{P_t}, \dots, \frac{p_n}{P_t}$

B:  $\frac{p_{t+1}}{1-P_t}, \frac{p_{t+2}}{1-P_t}, \dots, \frac{p_{l-1}}{1-P_t}$

式中,  $P_t = \sum_{i=0}^t p_i$ , 令  $H_t = - \sum_{i=0}^t p_i \ln p_i$ , 则目标和背景的熵分别为:

$$H_A(t) = - \sum_{i=0}^t \frac{p_i}{P_t} \ln \frac{p_i}{P_t} = \ln P_t + \frac{H_t}{P_t}$$
$$H_B(t) = - \sum_{i=t+1}^{l-1} \frac{p_i}{1-P_t} \ln \frac{p_i}{1-P_t} = \ln(1-P_t) + \frac{H-H_t}{1-P_t}$$

图像的总熵为:

$$H(t) = H_A(t) + H_B(t) = \ln P_t(1-P_t) + \frac{H_t}{P_t} + \frac{H-H_t}{1-P_t} \quad (3)$$

为了获得图片中物体和背景的最大信息量,希望  $H(t)$  越大越好,而使  $H(t)$  最大时的灰度值  $t^*$  将是所求的最佳阈值,其大小为:

$$t^* = \arg \max_{0 \leq t \leq l-1} H(t)$$

2 2 多阈值分割

当在同一背景上有多个物体,直方图将是多峰的,设  $t_1, t_2, \dots, t_k$  是分割阈值,且有  $t_1 < t_2 < \dots < t_k$ , 则图像的总熵为:

$$H(t_1, t_2, \dots, t_k) = \ln \left| \sum_{i=0}^{t_1} p_i \right| + \ln \left| \sum_{i=t_1+1}^{t_2} p_i \right| + \dots + \ln \left| \sum_{i=t_{k-1}+1}^{l-1} p_i \right| - \frac{\sum_{i=0}^{t_1} p_i \ln p_i}{\sum_{i=0}^{t_1} p_i} - \frac{\sum_{i=t_1+1}^{t_2} p_i \ln p_i}{\sum_{i=t_1+1}^{t_2} p_i} - \dots - \frac{\sum_{i=t_{k-1}+1}^{l-1} p_i \ln p_i}{\sum_{i=t_{k-1}+1}^{l-1} p_i} \quad (4)$$

最佳阈值  $t_1^*, t_2^*, \dots, t_k^*$  可使总熵取得最大值,即

$$t_1^*, t_2^*, \dots, t_k^* = \arg \max_{0 \leq t_1 < t_2 < \dots < t_k \leq l-1} H(t_1, t_2, \dots, t_k)$$

特别地,对于双峰值情况,即  $t_1 < t_2$ , 总熵为:

$$H(t_1, t_2) = \ln \left| \sum_{i=0}^{t_1} p_i \right| + \ln \left| \sum_{i=t_1+1}^{t_2} p_i \right| + \ln \left| \sum_{i=t_2+1}^{l-1} p_i \right| - \frac{\sum_{i=0}^{t_1} p_i \ln p_i}{\sum_{i=0}^{t_1} p_i} - \frac{\sum_{i=t_1+1}^{t_2} p_i \ln p_i}{\sum_{i=t_1+1}^{t_2} p_i} - \frac{\sum_{i=t_2+1}^{l-1} p_i \ln p_i}{\sum_{i=t_2+1}^{l-1} p_i} \quad (5)$$

最佳阈值  $t_1^*, t_2^*$  可使总熵取得最大值,即

$$t_1^*, t_2^* = \arg \max_{0 \leq t_1 < t_2 \leq l-1} H(t_1, t_2)$$

### 3 基于遗传算法的最佳熵法图像阈值分割

遗传算法 (GA) 是 1973 年美国教授 Holland J 提出的, 是一种借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机化搜索算法. 遗传算法利用简单的编码技术和繁殖机制来表现难以用传统搜索方法解决的复杂和非线性的问题, 通过随机选择、交叉和变异等遗传操作, 使群体一代代进化到搜索空间中越来越好的区域, 直至最优解, 其固有的并行性和不易陷入局部最优的特点, 使之非常适合于大规模搜索空间的巡优<sup>[4]</sup>.

#### 3.1 编码和适合度函数

把遗传算法应用于实际三维重建图像的阈值分割中, 首先要解决编码问题, 实际的图像是 256 灰度级的, 分割阈值范围在 0~255 之间, 所以单阈值分割时将各个染色体编码为 8 位的二进制编码, 双阈值时编码为 16 位的二进制编码. 适应度函数反映了自然界中生物对环境的适应能力, 因此适应度高的个体有更多的生存和繁殖机会, 本文单阈值分割选取的适应度函数是式 (3), 双阈值分割选取式 (4).

#### 3.2 分割流程

分割流程如下: (1) 设定 GA 参数, 从搜索空间中随机选取一定群体规模的人口, 编码后作为初始群  $M(0)$ ; 根据适应度函数计算  $M(0)$  各串的适应度值; (2) 根据  $M(x)$  的串复制出  $M(x+1)$  的串 ( $x$  为代数), 根据交叉概率  $P_c$  和变异概率  $P_m$  进行交叉和变异操作, 交叉概率设置为 0.8 变异概率设置为 0.01; (3) 计算  $M(x+1)$  各串的适应度值, 如终止条件不满足, 应重新进行 (2), 否则进行 (4); (4) 获得适应度值最高的串对应的  $t_b$ , 即为最佳阈值; (5) 进行图像分割.

#### 3.3 遗传操作和终止条件

遗传操作即复制、交叉和变异, 复制采用赌盘选择与最佳选择相结合的方法, 并在算法起始和最后几代采用适应度比例变换. 交叉操作单阈值分割采用简单的单点交叉, 双阈值时采用两点交叉. 变异操作即根据  $P_m$  对串的每位都实施变异.

终止条件为单阈值分割经过 10 代, 双阈值分割经过 20 代, 而群体中的最高适应度值仍未发生变化时, 算法停止运行, 具有最高适应度值的个体即为所求的解.

### 4 实验结果及分析

在面结构光投影法的三维物体形状检测和物

像重建中, 图像的阈值分割是非常关键的, 实验采用的图像是灰度级为 256 的灰度图像, 原始图像见图 2(a), 图 2(b) 为采用传统的最佳熵阈值法对图像进行单阈值分割的分割结果 (阈值 143), 图 2(c) 为采用遗传算法的最佳熵阈值法对图像进行双阈值分割的分割结果 (阈值 162). 由图 2 可见, 遗传算法可有效地用于图像分割, 并可缩短寻找阈值的时间, 表 1 列出了采用 GA 和传统的最佳熵阈值法的分割时间, 当单阈值分割时, 时间少的并不明显. 这是因为单阈值分割的搜索空间相对较小, 遗传算法的高效性并不能完全体现. 当双阈值分割时, 分割速度明显提高, 采用遗传算法的分割时间仅为 7.13 s, 大大短于传统的 KSW 熵法 (23.45 s) 的时间.



图 2 图像阈值分割

表 1 两种方法的时间对比

方法	时间 /s	
	单阈值分割	双阈值分割
传统方法	3.24	23.45
遗传算法	1.32	7.13

### 5 结论

提出了一种基于遗传算法的最佳熵阈值的图像分割方法, 并对三维重构图像进行了分割识别. 实验结果表明, 遗传算法作为一种并行的优化方法, 用于图像分割时, 可以大大缩短寻找阈值的时间, 特别是当搜索空间越大时, 遗传算法越有效.

#### [参考文献]

[1] Kapur J, Sahoo P, Wong A. A new method for gray-level picture threshold using the entropy of the histogram [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing 1985, 29(2): 273-285.

[2] Sahoo P, Soltani S, Wong A. A survey of threshold techniques [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing 1988, 41(3): 233-260.

[3] 夏良正. 数字图像处理 [M]. 南京: 东南大学出版社, 1999. 193-240.

[4] 阎平凡. 人工神经网络与模拟进化计算 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000. 377-415.

[责任编辑: 刘健]