

基于遗传算法的图像分割阈值选取

黄建新, 刘 怀, 黄 伟

(南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 图像分割是模式识别和图像分析的预处理阶段, 通常采用聚类的方法进行. 图像分割技术被认为是计算机视觉中的一个瓶颈. 基于扩展的 Otsu 最优阈值图像分割方法, 提出了一种用遗传算法进行图像分割的方法, 并给出了遗传算法中基本参数的设定. 实验结果表明, 基于图像的像素方差信息, 利用遗传算法全局搜索图像的双阈值, 这样不但图像分割效果好, 而且缩短了计算时间, 并具有遗传算法鲁棒性和自适应的特点, 比传统的 Otsu 方法有明显的优点. 在遗传算法中引入了优生算子、变异算子和新个体, 避免了局部早熟, 提高了收敛速度和全局收敛能力. GA 作为一种并行算法, 提高速度的潜力十分巨大.

[关键词] 阈值, 图像分割, 遗传算法

[中图分类号] TP391 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2007)01-0014-04

A Threshold Selection Method of Image Segmentation Based on Genetic Algorithm

Huang Jianxin, Liu Huai, Huang Wei

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

Abstract Image segmentation, as the pretreatment of the pattern recognition and image analysis, is processed by clustering. The technique of image segmentation is regarded as the bottleneck of the computer vision. An image segmentation method by genetic algorithms (GA) is proposed, which is based on optimal Otsu threshold algorithm. The basic parameters of GA are defined for image segmentation. Based on the information of square errors of image pixels, GA is used to search double thresholds. The experimental results indicate that it is not only of higher segmentation quality, but also reduces the running time and is of robustness and self-adaptability, and that it is better than traditional Otsu method. The paper introduces prepotency and variance operator and new individuals, so the arithmetic avoids premature and improves convergent speed and capability. GA, as a kind of parallel computing, is huge in the potential to improve its computing speed.

Key words threshold, image segmentation, genetic algorithm

图像分割是按照具体应用的要求和图像的内容将图像分割成一块块区域. 目的是将感兴趣的目标和背景分离出来. 图像分割是模式识别和图像分析的预处理阶段, 通常采用聚类的方法进行. 例如图像中组成我们所感兴趣的对象的像素具有某些相似的特征, 如相同的灰度值、相同的颜色等等.

图像分割技术相对于人类的视觉系统而言, 是一个非常简单的操作. 我们会利用已学到的知识和经验把整个感兴趣的对象一下子从其他不相关的对象中分离出来. 但是利用计算机进行图像分割处理不是一件简单的事情, 图像分割是计算机视觉研究中的一个非常重要而又十分困难的任务. 计算机视觉中的图像理解包括目标检测、特征提取和目标识别等, 都依赖于图像分割的质量.

70年代起图像分割问题就引起了关注, 很多研究人员为此付出了大量的心血^[1-3], 但到目前为止还没找到一个通用的方法, 也不存在一个分割是否成功的客观标准^[4]. 图像分割技术的进展比较缓慢, 被认为是计算机视觉中的一个瓶颈^[5]. 本文将遗传算法引入图像分割, 提出了一种单门限和多门限的分割方法, 获得了较好的分割效果.

收稿日期: 2006-06-02

作者简介: 黄建新 (1965-), 博士, 副教授, 主要从事自动控制理论与应用、数字图像处理等方面的教学与研究. E-mail: hj@nsgk.net

1 遗传算法的基本原理

遗传算法的基本原理最早是由 John Holland 先生在 1962 年提出来的, 1975 年 Holland 出版的著作 *Adaptation in Natural and Artificial Systems* 中明确指出, 遗传算法抽象于生物进化现象, 并建立了采用 GA 描述的适应性理论框架. 80 年代 Goldberg 进行了大量的遗传算法研究^[6], 并成功将其应用于各种类型的优化问题.

设 $P(t)$ 和 $C(t)$ 分别表示第 t 代的双亲和后代, 遗传算法的一般结构可描述如下:

```

begin
t ← 0
  初始化  $P(t)$ ;
  评估  $P(t)$ ;
  while 不满足终止条件 do
    begin
      重组  $P(t)$  获得  $C(t)$ ;
      评估  $C(t)$ ;
       $P(t)$  和  $C(t)$  中选择  $P(t+1)$ ;
    end
    t ← t + 1
  end
end

```

遗传算法在几个基本方面不同于传统优化方法, 可总结为如下几点:

- (1) 遗传算法运算的是解集的编码, 而不是解集本身.
- (2) 遗传算法的搜索始于解的一个种群, 而不是单个解.
- (3) 遗传算法只使用报酬信息 (适值函数), 而不使用导数或其他辅助知识.
- (4) 遗传算法采用概率的, 而不是确定的状态转移规则.

2 基于遗传算法的阈值选取

阈值选取是图像处理中的一个基本问题, 目前常用的有灰度直方图法、共生矩阵法、相关系数法、最小误差法、最大熵法、最大类间方差法^[7-9] (也称 Otsu 法) 等, 其中最大类间方差法因其计算简单, 稳定有效而在处理实际问题时得到了较为广泛的应用.

2.1 Otsu 法

Otsu 提出的最大类间方差法也是最常用的利用图像一维灰度直方图的阈值化方法之一. Otsu 方法基于一种判别式测度准则, 最佳阈值在该测度函数取最大值时得到. 设 $f(m, n)$ 为 $M \times N$ 图像的 (m, n) 点的灰度值, 灰度级为 L , 不妨设 $f(m, n)$ 的取值范围为 $[0, L-1]$. 设 $g(k)$ 表示图像中灰度值为 k 的像素和, $p(k)$ 表示像素灰度值为 k 的概率, 则

$$p(k) = \frac{g(k)}{M \times N}. \quad (1)$$

假设某一图像的阈值为 t , 则目标和背景可分别用 $\{f(m, n) < t\}$ 和 $\{t \leq f(m, n) < L\}$ 表示. 目标和背景部分的概率分别为:

$$\omega_0(t) = \sum_{i=0}^{t-1} p(i), \quad (2)$$

$$\omega_1(t) = 1 - \omega_0(t). \quad (3)$$

目标和背景部分的均值分别为:

$$\mu_0(t) = \frac{\sum_{i=0}^{t-1} ip(i)}{\omega_0(t)}, \quad (4)$$

$$\mu_1(t) = \frac{\sum_{i=t}^{L-1} ip(i)}{\omega_1(t)}. \quad (5)$$

图像像素总的均值为:

$$\mu = \omega_0(t)\mu_0(t) + \omega_1(t)\mu_1(t). \tag{6}$$

则最佳阈值为:

$$T^* = \operatorname{Arg\,max}_{0 \leq t \leq L-1} [\omega_0(t)(\mu_0(t) - \mu)^2 + \omega_1(t)(\mu_1(t) - \mu)^2]. \tag{7}$$

该式右端括号内实际上就是类间方差值, 阈值 T 分割出的目标和背景两部分构成了整幅图像, 因为差是灰度分布均匀性的一种度量, 类间方差最大意味着目标和背景的差别最大, 错分的概率最小, 这是 Otsu 法的本质.

2.2 拓展的 Otsu 法

Otsu 法是以灰度均值来代替目标与背景. 表示灰度分布的除了有灰度均值以外, 还有方差. 图像的灰度平均反映了图像灰度分布的均匀性, 目标与背景区内部一般较均匀, 而边界及其附近点的灰度跃变常常较大. 因此平均方差值反映了图像边界点的灰度跃变情况. 如果分割出的两部分中某部分的平均方差与总图的平均方差很接近, 说明有可能把整个边界及其附近点都分割到该部分了, 即出现了错分. 据此分析, 以平均方差代替 Otsu 方法中的均值是合理的^[10]. 由此可得:

$$T^* = \operatorname{Arg\,max}_{0 \leq t \leq L-1} [\omega_0(t)(\sigma_0^2(t) - \sigma^2)^2 + \omega_1(t)(\sigma_1^2(t) - \sigma^2)^2], \tag{8}$$

其中,

$$\sigma_0^2(t) = \frac{1}{\omega_0(t)} \sum_{i=0}^{t-1} (i - \mu_0(t))^2 p(i), \tag{9}$$

$$\sigma_1^2(t) = \frac{1}{\omega_1(t)} \sum_{i=t}^{L-1} (i - \mu_1(t))^2 p(i), \tag{10}$$

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - \mu)^2 p(i). \tag{11}$$

2.3 单阈值图像分割的遗传算法

设定人口数为 10 繁衍代数 为 50 由于图像灰度值在 0 ~ 255 之间, 因此可将每个染色体成员随机编码为 8 位二进制码, 代表某个门限值. 适应度函数取为:

$$f = \omega_0(t)(\sigma_0^2(t) - \sigma^2)^2 + \omega_1(t)(\sigma_1^2(t) - \sigma^2)^2, \tag{12}$$

其中, t 为阈值, 其它参数的含义如式 (9) ~ (11) 所示. 由适应度函数对染色体进行优胜劣汰的选择, 当然有时也需适当的变异, 被选中的染色体作为父代, 子代会具备更高的适应度值, 经过不断进化, 可得到最高适应度值, 也即得到了最佳阈值.

2.4 双阈值图像分割的遗传算法

如果将图像分为两个目标和一个背景, 则为了进一步提高图像分割的质量, 可采用双阈值分割的遗传算法. 将单阈值图像分割遗传算法中的 8 位二进制基因串变成 16 位, 每 8 位代表双阈值中的一个阈值, 在解码时只要把对应的两个 8 位值分别作为两个阈值即可. 遗传算法中的人口数可选为 20 繁衍代数仍为 50 此时的适应度函数为:

$$f = \omega_0(t_1)(\sigma_0^2(t_1) - \sigma^2)^2 + \omega_1(t_{12})(\sigma_1^2(t_{12}) - \sigma^2)^2 + \omega_2(t_2)(\sigma_2^2(t_2) - \sigma^2)^2, \tag{13}$$

其中,

$$\omega_0(t) = \sum_{i=0}^{t_1-1} p(i), \tag{14}$$

$$\omega_1(t_{12}) = \sum_{i=t_1}^{t_2-1} p(i), \tag{15}$$

$$\omega_2(t_2) = 1 - \omega_0(t_1) - \omega_1(t_{12}), \tag{16}$$

$$\sigma_0^2(t) = \frac{1}{\omega_0(t)} \sum_{i=0}^{t_1-1} (i - \mu_0(t))^2 p(i), \tag{17}$$

$$\sigma_1^2(t_{12}) = \frac{1}{\omega_1(t_{12})} \sum_{i=t_1}^{t_2-1} (i - \mu_1(t_{12}))^2 p(i), \tag{18}$$

$$\sigma_2^2(t_2) = \frac{1}{\omega_2(t_2)} \sum_{i=t_2}^{L-1} (i - \mu_2(t_2))^2 p(i), \quad (19)$$

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - \mu)^2 p(i), \quad (20)$$

$$\mu_0(t_1) = \frac{\sum_{i=0}^{t_1-1} \dot{p}(i)}{\omega_0(t_1)}, \quad (21)$$

$$\mu_1(t_{12}) = \frac{\sum_{i=t_1}^{t_2-1} \dot{p}(i)}{\omega_1(t_{12})}, \quad (22)$$

$$\mu_2(t_2) = \frac{\sum_{i=t_2}^{L-1} \dot{p}(i)}{\omega_2(t_2)}. \quad (23)$$

3 实验结果及分析

本文对运行中的船只用遗传算法进行了图像分割实验. 实验参数设置如下:

人口数 = 20 最大繁衍代数 = 50 交叉概率 = 0.6 变异概率 = 0.01

初始人口可随机选取, 并采用一致交叉 (或均匀交叉) 法, 变异是随机的, 即从第 k 代群体中由选择、交叉所生成的支配池中, 依次选择个体依据变异率进行随机变异.

图 1 是用 Otsu 法和用本文所述的双阈值遗传算法对京杭大运河中运行的船只进行图像分割的实验结果; 图 1(a) 为原始图像, 图 1(b) 为扩展的双阈值 Otsu 法的分割结果, 图 1(c) 为遗传算法的分割结果.

实验在 P2.4G PC 机上进行, 用遗传算法进行双阈值分割仅需 0.021 s, 而用 Otsu 法则需 16.455 s. 虽然用遗传算法分割图像所需时间大大缩短了, 但和用 Otsu 法寻找到的阈值却基本一致, 分别为 106 149 和 106 150. 因而分割结果也相差无几.

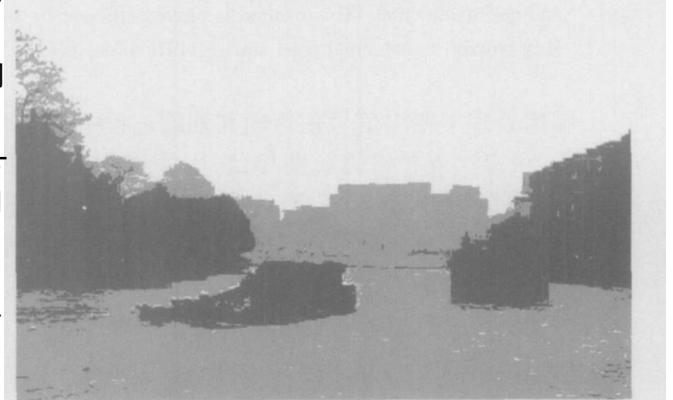
实验结果表明, 遗传算法作为一种优化算法, 用于图像分割时, 可以大大缩短寻找阈值的时间, 从而有利于计算机视觉的后续处理. 当搜索空间越大时, 遗传算法越有效. 将遗传算法用于图像处理, 有广阔的应用前景. GA 作为一种并行算法, 提高速度的潜力是很大的, 如与并行计算机相结合, 必将使速度大为提高.



(a) 原始图像



(b) 扩展的双阈值 Otsu 法



(c) GA 双阈值算法

图 1 双阈值分割实验结果

Fig.1 The image segmentation results of the double thresholds method

(下转第 36 页)

- neering Thermophysics 1988 10(3): 34-38 (in Chinese)
- [3] 马先英, 赵世明, 林艾光. 不同干燥方式对胡萝卜干燥特性的影响 [J]. 大连轻工业学院学报, 2006 25(2): 155-156
Ma X ianying, Zhao Sh i ming, L i ng A i guang. Infection to technological parameter of different carrot drying [J]. Journal of Dalian Light Industry College, 2006 25(2): 155-156 (in Chinese)
- [4] 常建民, 张斌. 落叶松干燥过程热质传递特性的实验研究 [J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1997, 30(4): 72-74
Chang Jian min, Zhang Bin. Studies on heat and mass transfer properties of dahurian larch-wood during drying [J]. Journal of Harbin University of Architecture and Engineering 1997, 30(4): 72-74 (in Chinese)
- [5] 潘永康. 干燥过程特性和干燥技术的研究策略 [J]. 化学工程, 1997, 25(3): 37-41.
Pan Yongkang. The characteristic of drying process and research strategy on drying technology [J]. Chemical Engineering 1997, 25(3): 37-41. (in Chinese)
- [6] 林玉红, 闫亚明, 罗登山, 等. 烤烟叶丝微波干燥特性研究 [J]. 烟草科技, 2006(4): 5-8
Lin Yuhong, Yan Yaming, Luo Dengshan, et al. Study on cut tobacco drying by microwave [J]. Tobacco Science and Technology 2006(4): 5-8 (in Chinese)
- [7] 王福娟, 李成华. 胡萝卜真空干燥工艺参数的试验研究 [J]. 中国农机化, 2005(3): 55-57.
Wang Fujuan, Li Chenghua. Experiment study on technological parameter for carrot vacuum drying [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2005(3): 55-57. (in Chinese)
- [8] 徐之平, 赵贤良. 物料干燥特性的研究 [J]. 上海机械学院学报, 1993 12(4): 52-57.
Xu Zhiping, Zhao Xianliang. A study of drying characteristics of materials [J]. Journal of Shanghai Industry Mechanics Engineering 1993, 12(4): 52-57 (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]

(上接第 17 页)

[参考文献] (References)

- [1] 华刚, 郑南宁, 薛建儒. 基于改进遗传算法的边缘检测阈值自动选取及其应用 [J]. 小型微型计算机系统, 2002 23(3): 318-321
Hua Gang, Zheng Nanning, Xue Jianru. An approach based on improved genetic algorithm to selecting the threshold automatically in edge detection and its application in computer vision system [J]. Micro System, 2002 23(3): 318-321 (in Chinese)
- [2] 张淑艳, 姚晓东, 邹俊忠, 等. 基于开放式遗传算法的图像阈值选取 [J]. 华东理工大学学报: 自然科学版, 2004 30(2): 170-174
Zhang Shuyan, Yao Xiaodong, Zou Junzhong, et al. Selection of image threshold based on an open genetic algorithm [J]. Journal of East China University of Science and Technology: Natural Science Edition 2004 30(2): 170-174 (in Chinese)
- [3] 王春柏, 赵保军, 何佩琨. 基于免疫遗传算法的自适应图像分割方法 [J]. 红外与激光工程, 2004 33(2): 178-180
Wang Chunbai, Zhao Baojun, He Peikun. Adaptive segmentation method based on immune genetic algorithm [J]. Infrared and Laser Engineering 2004 33(2): 178-180 (in Chinese)
- [4] Zheng Y. J. A survey on evaluation methods for image segmentation [J]. Pattern Recognition, 1996 29(8): 1 335-1 346
- [5] Nikhil R. P, Sankar K. P. A review on image segmentation techniques [J]. Pattern Recognition, 1993 26(9): 1 277-1 294
- [6] Goldberg D. Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning [M]. Addison-Wesley: Peason Reading MA, 1989.
- [7] 吴一全, 朱兆达. 图像处理中阈值选取方法 30 年 (1962~ 1992) 的进展 () [J]. 数据采集与处理, 1993, 8(3): 193-201.
Wu Yiquan, Zhu Zhaoda. The progress of the methods for image threshold selection in the last thirty years (1962~ 1992) (I) [J]. Journal of Data Acquisition and Processing 1993, 8(3): 193-201 (in Chinese)
- [8] 吴玲艳, 沈庭芝, 方子文, 等. 基于直方图熵和遗传算法的图像分割法 [J]. 兵工学报, 1999, 20(3): 255-258
Wu Lingyan, Shen Tingzhi, Fang Ziwen, et al. An image segmentation method using the entropy of histogram and genetic algorithm [J]. Armamentarij 1999 20(3): 255-258 (in Chinese)
- [9] 金聪, 彭嘉雄. 利用遗传算法实现数字图像分割 [J]. 小型微型计算机系统, 2002, 23(7): 875-877.
Jin Cong, Peng Jiaxing. Digital image segmentation based on genetic algorithm [J]. Micro System, 2002, 23(7): 875-877 (in Chinese)
- [10] Sahoo P. K, Soltani S, Wong A. K. C. A survey of thresholding techniques, computer vision [J]. Graphics Image Processing 1988 41(2): 233-260

[责任编辑: 刘 健]