

基于最优家族遗传算法的改进二维熵图像分割

徐晓军, 李建华, 王孙安, 郭咏虹

(西安交通大学机械工程学院, 710049, 西安)

摘要: 分析了最大二维熵图像分割算法的基本原理, 提出了一种改进的二维熵图像分割算法. 该算法同时考虑了孤立像素点的灰度信息和像素点的空间相关性, 并对目标的边缘进行检测, 因此保留了更多的图像边缘信息. 引入搜索区域、群体规模可变的最优家族遗传算法对阈值进行搜索, 不仅提高了算法的搜索速度, 而且避免了早熟现象. 实验结果表明, 分割 256×256 的 Lena 图 100 次, 平均时间为 11593.7 s, 平均进化代数为 21503.7, 且边缘信息得到了很好保留. 改进算法在分割速度和分割精度上比普通二维熵的分割算法有显著的提高, 说明了算法的有效性.

关键词: 二维熵; 图像分割; 遗传算法; 边缘检测; 灰度

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253 - 987X(2004)11 - 1182 - 04

Reformative 22Dimensional Entropy Method for Image Segmentation Based on Optimum Family Genetic Algorithm

Xu Xiaojun, Li Jianhua, Wang Sun an, Guo Yonghong

(School of Mechanical Engineering, Xi an Jiaotong University, Xi an 710049, China)

Abstract: Based on the principle of 22dimensional entropy, an improved algorithm for image segmentation is put forward, where the spatial correlation and grey scale are considered, and the target edgy is detected to kept down more edgy informations. The threshold is searched by optimum family genetic algorithm(OFGA) which has the ability to change the search space and population size. Compared with the other similar segmentation algorithm, the newly proposed one facilitates accelerating the computing rate, improving the accuracy and preventing the prematurity. To illustrate the algorithm validity, the Lena image whose size is 256×256 pixels is segmented 100 times. The results show that the average time reaches to 11593.7 s, the average evolution number approach2 es to 21503.7, and the edgy informations are kept down perfectly.

Key words: 22dimensional entropy; image segmentation; genetic algorithm; edgy detection; grey

图像分割是图像处理领域极为重要的内容之一, 近年来人们对图像分割进行了大量的研究工作. 与其他方法^[1-3]相比, 最大熵法对不同信噪比和不同大小的目标均能产生较好的分割效果, 因此研究与应用较多. 最大熵法包括一维最大熵法^[4-6]和二维最大熵法^[7-9]. 由于噪音的影响, 一维直方图得到的阈值并不能使图像得到满意的分割结果, 二维最大熵利用图像像素与其邻域平均灰度二维直方图来分割, 效果较好, 但对于目标的一些边缘信息未能

保留. 然而, 边缘信息不但对人的视觉非常重要, 而且对于计算机视觉、武器跟踪控制, 以及自动行走的车船设计都非常重要^[10]. 二维熵涉及大量的对数和乘法运算, 运算量相对一维最大熵成指数增加. 为此, 文献[6,8]用传统遗传算法搜索阈值, 在一定程度上减少了计算量, 而传统遗传算法由于局部搜索能力不足, 因此难以获得一个稳定的结果, 且搜索的速度也无法进一步提高. 文献[1,2,7]对传统遗传算法进行了改进, 采用自适应遗传算法^[11](AGA)进行搜

收稿日期: 2004 - 03 - 03. 作者简介: 徐晓军(1980~), 男, 硕士生; 王孙安(联系人), 男, 教授, 博士生导师. 基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(2001X17); 陕西省机械制造装备重点实验室资助项目(03IF06).

索,虽然克服了早熟,但是其搜索速度和收敛性能都未得到根本性提高.本文在传统二维熵的基础上,考虑了像素的空间相关性的同时,对目标边缘进行检测,对于边界点,利用该点的微小邻域差分作为分割阈值,因此保留了更多的边缘信息.同时,引入性能优良的最优家族遗传算法^[12]搜索阈值,也加快了搜索速度.实验表明,分割后更多的信息得到了保留,同时搜索阈值的速度有了质的提高,说明改进后的算法在图像分割领域具有应用潜力.

1 改进二维熵图像分割算法

1.1 传统的二维熵分割

设图像的尺寸为 $N \times N$,图像的灰度变化范围为 $[0, K)$, $f(m, n)$ 为像素点的灰度,则有 $f(m, n) \in [0, K)$. 设点 (m, n) 的 $M \times M$ 邻域的平均灰度为 $a(m, n)$, 易得 $a(m, n) \in [0, K)$, 这说明了图像中任一点邻域的平均灰度与该点的灰度具有同样的变化范围. 每个像素点与其邻域的平均灰度形成一个灰度二元组, 组元的变化区间为 $[0, K)$, 则

$$p(u, v) = \frac{c(u, v)}{N \times N}, \quad u \in [0, K), v \in [0, K) \quad (1)$$

其中有
$$P(i, j) = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} p(i, j) = 1 \quad (2)$$

式中: u, v 分别表示像素点的灰度和像素点邻域的平均灰度; $c(u, v)$ 表示二元组 (u, v) 发生的频数; $p(u, v)$ 表示二元组 (u, v) 发生的频率.

在被分割的图像中存在着两类 O 和 B , 其分别代表目标和背景. 利用二维直方图门限向量 $V = (s, t)$ 对图像进行分割, 使 $s \in [0, K), t \in [0, K)$, 这样可分别得到目标和背景的概率为

$$P(O) = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t P(i, j) \quad (3)$$

$$P(B) = \sum_{i=s}^K \sum_{j=t}^K P(i, j) \quad (4)$$

$$H(O) = - \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t (P(i, j)/P(O)) \ln(P(i, j)/P(O)) - \frac{1}{P(O)} \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t (P(i, j) \ln(P(i, j))) - P(i, j) \ln(P(O)) = \ln P(O) + \frac{H_{s,t}}{P(O)} \quad (5)$$

式中: $H_{s,t} = - \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t P(i, j) \ln P(i, j)$; $H(O)$ 表

示目标熵. 在文献^[2, 3]中忽略了图像边缘信息和图像噪声的存在, 近似认为

$$H(B) = \ln(1 - P(O)) + \frac{(H_{K,K} - H_{s,t})}{1 - P(O)} \quad (6)$$

$$H_{K,K} = - \sum_{i=0}^K \sum_{j=0}^K P(i, j) \ln(P(i, j))$$

$$H_{all} = H(O) + H(B) \quad (7)$$

式中: $H_{all}, H(B)$ 分别代表图像总熵和背景熵. 图像分割的最佳阈值应使 H_{all} 最大, 即

$$V^3 = (s, t)^3 = \arg\{\max_{0 < s, t < K} (H_{all})\} \quad (8)$$

1.2 二维熵分割改进

按照传统的方法, 如图 1 所示, Q 区、 R 区所表示的目标到背景, 以及背景到目标的信息和图像噪声信息将会丢失. 在数字图像中, 目标点和背景点所占的比例最大, 熵是平均信息量的表征, 如果一个图像噪声小, 目标到背景的过渡区域小, 灰度直方图分布较均匀, 信息就主要集中在图 1 中虚对角线附近的区域, 此时按照传统方法处理比较合理, 反之则不合理.

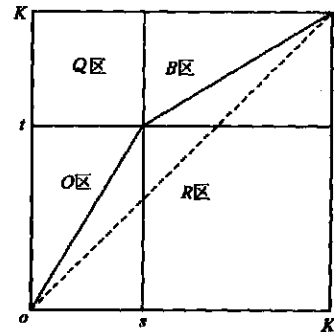


图 1 图像二维直方图的平面图

在图 1 中, O 区和 B 区分别代表目标和背景区域, 对于图像分割, 无论用什么方法都会导致信息的丢失, 但是好的方法应当使信息保留的更多. 为此, 在本文中对于图像灰度变化平缓的区域, 主要是指目标区域和背景区域, 它集中于图 1 中虚对角线附近. 用式(8)中的 s 作为阈值 T 进行分割, 对于图像边缘采用 Sobel 算子来检测边缘梯度的差分, 并以此为依据进行分割.

对于点 (m, n) 的 3×3 邻域, 所具有的差分算子为

$$a[3][3] = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$b[3][3] = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

由于采用传统方法会导致边缘信息丢失,而边缘信息对于图像理解和目标识别又非常重要,所以本文中对于边缘点的分割算法流程如下.

(1) 计算边缘点 (m, n) 3×3 邻域的水平与垂直方向上的差分

$$\alpha_x = \frac{f(m+i, n+j) - f(m-i, n+j)}{a[1+i][1+j]}$$

$$\alpha_y = \frac{f(m+i, n+j) - f(m+i, n-j)}{b[1+i][1+j]}$$

(2) 计算边缘点 (m, n) 的 3×3 邻域的几何差分

$$\alpha(m, n) = ((\alpha_x)^2 + (\alpha_y)^2)^{1/2}$$

(3) 判断是否满足 $T > \alpha(m, n)$, 若满足则 $f(m, n) = 0$, 否则 $f(m, n) = 1$.

比较 Lena 图分割结果可以发现,这种改进后的二维熵分割方法的效果比较好,保留了更多的边缘信息.但是,在搜索 T 的过程中,灰度组 (s, t) 遍历了所有在 $[0, K)$ 范围的灰度值,因此计算中需要乘法和取对数的次数约为 $O(K^4)$,这在实际应用中是比较困难的.

2 最优家族遗传算法的阈值选取

遗传算法(GA)是模拟达尔文的遗传选择和进化选择的计算模型,是一种求解问题的高效并行的搜索方法,其主要特点是在搜索过程中积累有关空间的搜索知识,对目标函数无连续、可微等苛刻条件的约束,自适应在空间获取最优解,因而得到了广泛的应用.引入GA来完成阈值搜索可最大限度地降低计算的复杂度,减少阈值搜索时间.最优家族遗传算法^[1](OFGA)是一种改进的遗传算法,其本身的特点是搜索区域和群体规模可变,与传统的GA相比,OFGA在极大地提高收敛速度的同时,其最优解的精度也有很大提高.因此,引入OFGA进行搜索可进一步提高分割算法的性能.

采用遗传算法完成图像二维熵阈值搜索时,必须解决2个问题: 编码,即将阈值表示为染色体;

构造适应度函数来评价分割效果.设图像灰度值在 $[0, 255]$ 之间,阈值范围也必然是 $[0, 255]$,灰度组是二维向量且组元是整数,因此采用16位二进制编码表示,前8位表示像素点灰度,后8位表示对应像素点邻域的平均灰度.定义适应度函数为

$$F = \ln P(O) + \frac{H_{s,t}}{P(O)} + \ln(1 - P(O)) + \frac{(H_{K,K} - H_{s,t})}{1 - P(O)} \quad (9)$$

将编码方式和适应度函数代入 OFGA 流程,经过一定代数迭代后就可以得到需要的阈值. OFGA 流程参见文献[12], OFGA 中用到的参数参见表 1.

表 1 实验参数的选取

| 遗传算法 | 微型搜索空间的大小 | 最优家族生存代数 | 最优家族种群规模 | 基本种群规模 | 变异率 | 交叉率 | 变异率调节步长 |
|------|-----------|----------|----------|--------|--------|------|---------|
| OFGA | 6 | 8 | 6 | 60 | 0.1001 | 0.19 | 0.11 |
| AGA | | | | 100 | 0.1001 | 0.19 | 0.11 |
| GA | | | | 100 | 0.1001 | 0.19 | |

3 实验数据处理和结果分析

在实验中,采用本文的算法和其他几种算法对 256×256 的 Lena 图各做 100 次分割.遗传算法搜索的中止条件为:如果 50 代之后还没有发现比当前解更优的解,则中止迭代,其统计平均值见表 2.

表 2 算法的结果统计

| 搜索算法 | t/s | 平均分割阈值 | 平均进化代数/代 | 未收敛次数/次 |
|------|----------|---------|----------|---------|
| 穷尽 | 461697.4 | 82 | | |
| GA | 41561.1 | 82.1158 | 101246.8 | 11 |
| AGA | 31413.1 | 82.1234 | 51929.6 | 4 |
| 本文 | 11593.7 | 81.1629 | 21503.7 | 0 |

以上实验是在主频 2.14 GHz,内存 512 MB 的计算机上进行的,编程环境为 VC++ 6.10,其中表 2 中的 GA 和 AGA 排除了符合终止条件仍不收敛的结果.从搜索结果中看到本文的算法比传统遗传算法迭代次数少,比传统遗传算法和自适应遗传算法的搜索速度有所提高.

为了进一步验证本文的分割效果,将本文的改进二维熵分割算法的结果和传统的分割方法进行了比较(见图 2).从图中可以看出,本文的方法保留了更多的边缘信息,其效果更好.

4 结论

本文分析了传统二维熵分割法存在的不足,提出了保留更多边缘信息的改进方法.由于计算量较大,所以引入性能优良的最优家族遗传算法来搜索阈值.从对比实验结果中看到,分割后新的算法保留了更多的信息,同时阈值搜索的速度也有了很大的提高,说明本文提出的算法能够较好地应用于图像分割领域中.



(a)原图

(b)文献[7-9]的普通二维熵分割

(c)本文算法

图 2 图像分割的结果

参考文献:

- [1] 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, 2003,23(7):875 - 877.
- [2] 阳 波. 基于最大类间方差遗传算法的图像分割[J]. 湖南师范大学学报, 2003,26(1):32 - 36.
- [3] 王英建,周书仁,唐贤瑛. 基于适应性阈值和遗传算法的图像分割[J]. 长沙交通学院学报,2003,19(2):69 - 72.
- [4] Esquef I, Albuquerque M, Albuquerque M. Nonextensive entropic image thresholding[A]. Proceedings of the XV Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing[C]. Brazil, Fortaleza2CE: IEEE, 2002. 402 - 403.
- [5] Sin C F, Leung C K. Image segmentation by edge pixel classification with maximum entropy[A]. Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing[C]. Hong Kong:IEEE, 2001. 283 - 286.
- [6] 张笃振,李一民. 基于遗传算法的彩色图像分割[J]. 昆明理工大学学报, 2003,28(4):57 - 59.
- [7] Wang Lei, Shen Tingzhi. Two2dimensional entropy method based on genetic algorithm[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2002, 11(2):184 - 188.
- [8] 吴 薇,赵 旭,郑秋霞. 基于遗传算法的二维最大熵图像分割[J]. 武警工程学院学报,2003,19(4):25 - 27.
- [9] 陆建峰,李士进,唐振民,等. 基于遗传算法的二维熵方法自动阈值[J]. 南京理工大学学报,1998,22(2):101 - 104.
- [10] 容观澳. 计算机图像处理[M]. 北京:清华大学出版社,2000. 258 - 259.
- [11] 庄 健,王孙安. 自适应遗传算法[J]. 西安交通大学学报,2002,36(11):359 - 363.
- [12] 李建华,王孙安. 最优家族遗传算法[J]. 西安交通大学学报,2004,38(1):77 - 80.

(编辑 管咏梅)

(上接第 1172 页)

4 结 论

本文对齿轮箱、轴承等复杂的振动信号进行了经验模式分解,得到了若干个基本模式分量.通过对包含调制信号的基本模式分量进行包络分析,可有效地克服传统希尔伯特包络解调技术容易出现无法分析或引起频率成分误诊断的局限性.最后,用工程应用实例验证了本文方法的有效性.

参考文献:

- [1] 丁 康,江利旗. 解调分析在机械振动分析中应用的局限性研究[J]. 机械科学与技术, 2000, 19(5):722 - 728.
- [2] Huang N E, Shen Z, Long S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlin2 ear and non2stationary time series analysis[J]. Proc R Soc Lond(A), 1998, 454(1):903 - 995.
- [3] 胥永刚. 机电设备监测诊断时域新方法的应用研究[D]. 西安:西安交通大学机械工程学院, 2003.
- [4] 何正嘉,菅艳阳. 基于 Hermitian 小波的信号奇异性识别[J]. 工程数学学报, 2001, 18(2):37 - 43.

(编辑 管咏梅)