

文章编号: 1001-3806(2013)04-0519-04

基于 2 维最大熵最佳阈值算法的图像分割研究

魏雪峰^{1,2}, 刘 晓³

(1. 黄淮学院 信息工程学院, 驻马店 463000; 2. 武汉理工大学 信息工程学院, 武汉 430070; 3. 鹤壁职业技术学院 网络中心, 鹤壁 458030)

摘要: 为了提高图像分割的质量, 采用 2 维最大熵最佳阈值方法, 首先通过灰度区域确定该域像素的 2 维随机向量, 在准则函数下求得 2 维最大熵最佳阈值; 接着通过递推优化对 2 维最大熵最佳阈值计算数据优化处理, 减少重复性数据计算量; 最后通过分割图像区域与原目标空间位置的互信息量最大准则, 把误分割误差函数作为检测分割标准, 给出了算法流程; 并仿真出了不同算法的图像分割结果。结果表明, 该算法得到图像分割的精度较高, 没有背景与噪声的残留, 保留了图像信息, 执行速度快、分割效果视觉好、误分割误差最小。这对提升图像分割效率是有帮助的。

关键词: 图像处理; 2 维最大熵; 最佳阈值; 像素

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.04.023

Research of image segmentation based on 2-D maximum entropy optimal threshold

WEI Xue-feng^{1,2}, LIU Xiao³

(1. College of Information, Huanghuai University, Zhumadian 463000, China; 2. College of Information, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 3. Network Center, Hebi Occupation Technology College, Hebi 458030, China)

Abstract: In order to improve the quality of image segmentation, two-dimensional maximum entropy optimal threshold (TDMEOT) method was used. Firstly, 2-D random vector of the domain pixels was defined through the gray region and TDMEOT value was gotten by the criterion function. Secondly, calculation data of 2-D maximum entropy threshold were optimized through the recursive optimization and the repetitive data calculation was reduced. Finally, based on the maximum mutual information criterion between the segmentation image area and the target space position and choosing error segmentation function as the segmentation standard, the algorithm flow and the image segmentation results of different algorithms were given after experimental simulation. The results show that this method has higher precision of image segmentation and has no residual background noise, and retains the image information with fast speed, good segmentation visual and minimum segmentation error. The research is helpful to improve the efficiency of image segmentation.

Key words: image processing; 2-D maximum entropy; optimal threshold; pixel

引 言

图像分割是根据图像的性质、处理的需要将图像划分成若干个互不相交的小区域的过程^[1]。图像分割是图像分析、理解和描述的关键步骤, 图像处理中的目标检测、识别和跟踪都取决于图像分割的质量^[2]。

目前图像分割方法分为: 基于边界方法和基于区域方法。基于边界方法假设图像某个子区域在原来的图像中一定会有边缘存在, 适合边界明显的图像^[3]; 基于区域方法假设图像的子区域一定会有相同的性质, 而不同区域的像素没有共同的性质, 适合图像数据量少, 且要求高效率^[4]的情况。最为经典的是基于灰度阈值的分割方法, 将像素按灰度级进行分类, 根据灰度级的概率设置单个灰度阈值, 从而实现图像分割, 但是若背景与目标灰度重叠, 则分割效果出现细节丢失现象^[5]; 多阈值分割方法解决了单阈值问题, 但是需要一个最佳门限组合^[6]。

作者利用像素灰度的分布信息和其领域空间的

作者简介: 魏雪峰(1973-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向为信息处理。

E-mail: hhwx2013@foxmail.com

收稿日期: 2012-10-15; 收到修改稿日期: 2012-12-03

2 维最大熵,结合准则函数确定最佳阈值分割图像,通过递推优化计算减少数据的复杂性,提高了计算速度,使每次计算的时候不用从初值计算。实验仿真显示,本文中的算法提高了图像的分割精度,抗噪能力强,同时误分割误差最小。

1 2 维最大熵最佳阈值分割算法

1.1 2 维最大熵最佳阈值思想

2 维最大熵方法同时考虑了像素灰度的分布信息和其领域空间相关信息,因而具有较强的抗干扰能力。在 1 幅灰度级数为 $l \in [0, 255]$ 的图像中像素点数为 $N(m \times n)$, 设 $f(i, j)$ 是灰度为 i 及区域灰度均值为 j 的像素点数, 2 维随机向量 (i, j) 服从联合离散概率分布^[7], $p(i, j)$ 是 (i, j) 的发生概率, 2 维熵为:

$$H = - \sum_i \sum_j p(i, j) \lg p(i, j) \quad (1)$$

熵的判别函数定义为:

$$\phi(s, t) = \lg [P_a(1 - P_a)] + H_a/P_a + (H_t - H_a)/(1 - P_a) \quad (2)$$

式中, $H_t = - \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t p(i, j) \lg p(i, j)$; $H_a = - \sum_{i=s+1}^{255} \sum_{j=t+1}^{255} p(i, j) \lg p(i, j)$; $P_a = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t p(i, j)$ 。下标 l, a 表示灰度级数, 2 维最大熵运用点灰度和区域灰度信息^[8-9], 把图像中灰度级大(小)的像素属于分割目标(背景), 那么背景和目标的概率为 P_0, P_1 , 方差分别为 $\sigma_0^2(i, j), \sigma_1^2(i, j)$ 。

背景和目标的熵分别为:

$$\begin{cases} H_0 = - \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t \left[\frac{p(i, j)}{P_0} \right] \lg \left[\frac{p(i, j)}{P_0} \right] \\ H_1 = - \sum_{i=s+1}^{255} \sum_{j=t+1}^{255} \left[\frac{p(i, j)}{P_1} \right] \lg \left[\frac{p(i, j)}{P_1} \right] \end{cases} \quad (3)$$

准则函数为:

$$\Phi(i, j) = \frac{[P_0 - P_1]^2}{P_0 \sigma_0^2(i, j) + P_1 \sigma_1^2(i, j)} \quad (4)$$

式中, $P_0 = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t p(i, j)$; $P_1 = \sum_{i=s+1}^{255} \sum_{j=t+1}^{255} p(i, j) = 1 - P_0$;

$$\sigma_0^2(i, j) = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t \left[p(i, j) - \frac{\mu_0(i, j)}{P_0(t)} \right]^2 p(i, j) / P_0 ;$$

$$\sigma_1^2(i, j) = \sum_{i=s+1}^{255} \sum_{j=t+1}^{255} \left[p(i, j) - \frac{\mu_1(i, j)}{P_1(t)} \right]^2 p(i, j) / P_1 ;$$

其中, μ_0 为背景阈值 P_0 的像素点数, μ_1 为目标阈值

P_1 的像素点数。使 $\Phi(t)$ 达到最大求得最佳阈值: $(i^*, j^*) = \operatorname{argmax} \{ \Phi(i, j) \}$ 。

1.2 递推优化

在 2 维最大熵最佳阈值 (two-dimensional maximum entropy optimal threshold, TDMEOT) 计算 $p(i, j)$ 时, 每次需要计算 P_0, H_0, P_1, H_1 , 对 2 维最大熵最佳阈值优化为:

$$\begin{cases} P_a(s, t+1) = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t+1} p(i, j) = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t p(i, j) + \sum_{i=1}^s p(i, t+1) \\ H_a(s, t+1) = - \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t+1} p(i, j) \lg p(i, j) = - \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t p(i, j) \lg p(i, j) - \sum_{i=1}^s p(i, t+1) \lg p(i, t+1) \\ H_a(s, t) + H_s(t+1) \end{cases} \quad (5)$$

式中,

$$\begin{cases} P_s(t+1) = \sum_{i=1}^s p(i, t+1) \\ H_s(t+1) = - \sum_{i=1}^s p(i, t+1) \lg p(i, t+1) \\ P_a(s, t_0) = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t_0} p(i, j), (s = s_0, s_0 + 1, \dots, 255) \\ H_a(s, t_0) = - \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t_0} p(i, j) \lg p(i, j) \end{cases} \quad (6)$$

当固定 s 时, t 取 $0 \sim 255$, $\Phi(i, j)$ 不存在重复计算。固定 t 时, s 推导为:

$$\begin{cases} P_{s+1}(t+1) = \sum_{i=1}^{s+1} p(i, t+1) = \sum_{i=1}^s p(i, t+1) + p(s+1, t+1) \\ H_{s+1}(t+1) = - \sum_{i=1}^{s+1} p(i, t+1) \lg p(i, t+1) = - \sum_{i=1}^s p(i, t+1) \lg p(i, t+1) - p(s+1, t+1) \lg p(s+1, t+1) \end{cases} \quad (7)$$

式中, $P_s(t+1)$ 的初始值为 $P_{s_0}(t+1)$, $H_s(t+1)$ 的初始值为 $H_{s_0}(t+1)$, $t = t_0, t_0 + 1, \dots, 255$ 。这样大大减少了计算的复杂性^[10], 提高了计算速度, 每次计算的时候不用从初值计算。

1.3 图像分割步骤

当两幅图像在空间位置完全一致时,对应灰度的互信息量最大,分割后的图像假设是原图像的一种特殊模态的图像^[11-12],即分割图像的区域与原目标的空间位置一致时,这时它们的互信息量达到最大,可得最佳的分割结果,互信息量最大则误分割误差(false segmentation error, FSE)最小。

把误分割误差 FSE 作为分割的客观评价标准:

$$E_{FSE} = 1 - \frac{|B_0 \cap B_p| + |F_0 \cap F_p|}{|B_0| + |F_0|} \quad (8)$$

式中, B_0, F_0 分别表示图像的真实背景和目标; B_p, F_p 分别为分割图像的背景和目标, $|\cdot|$ 表示集合的势, $|B_0 \cap B_p|$ 是正确划分为背景的像素构成的集合, $|F_0 \cap F_p|$ 是正确划分为目标的像素构成的集合, 误分割误差越小表示分割的效果越好, 本文中假定最小误分割误差为 0.0163。

算法步骤如图 1 所示。

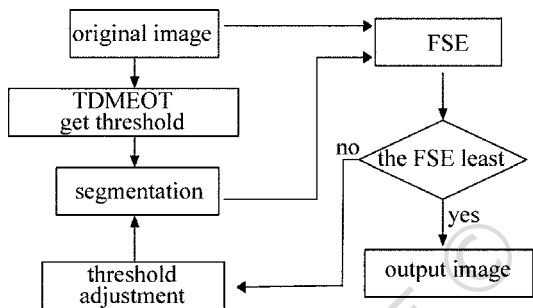


Fig. 1 Algorithm steps



Fig. 3 Segmentation with different methods

a—maximum entropy multi-thresholding segmentation b—maximum entropy single threshold segmentation c—maximum entropy dual-threshold segmentation

为了更好地说明分割视觉的有效性,采用 2 幅不同细节层次的图像分别进行实验,如图 4 所示,图 5~图 7 为处理效果图。

从图 5~图 7 对比分割效果图可以看出,对于不同细节层次的图像,图 5 的最大熵最佳阈值分割图能够把图像的层次识别分割,而图 6 和图 7 的方法分割图存在把不同的层次判为相同的平面进行分割,导致了分割边缘的不准确。

2 实验仿真

实验中采用的软件为 MATLAB7.0。图 2a 为待分割图像,大小为 300cm × 300cm,图 2b 是添加了方差为 20,零均值的高斯白噪声。



Fig. 2 Image to be segmented

a—image source b—add noise to image

图 3a 是添加噪声后的 2 维最大熵最佳阈值分割图,图 3b 是添加噪声后的最大熵单阈值分割图,图 3c 是添加噪声后的最大熵双阈值分割图。

结果显示:图 3a 的 2 维最大熵最佳阈值分割图效果最好,由点灰度和区域灰度信息建立 2 维最大熵,得到的分割较高精度的图像,摄影师和摄像机目标与背景分开,从噪声图像中分割出目标,摄影师和摄像机目标分割边缘较光滑。图 3b 和图 3c 算法得到的结果中有背景与噪声的残留,丢失了图像信息,这是因为噪声干扰因素使最大熵单阈值和最大熵双阈值分割不能反映出邻域像素的空间相关信息。

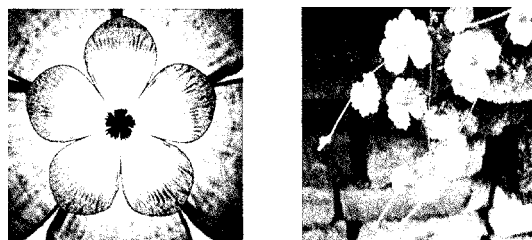


Fig. 4 Image with different level of details

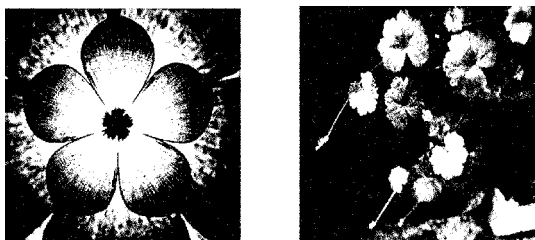


Fig. 5 Maximum entropy multi-thresholding segmentation

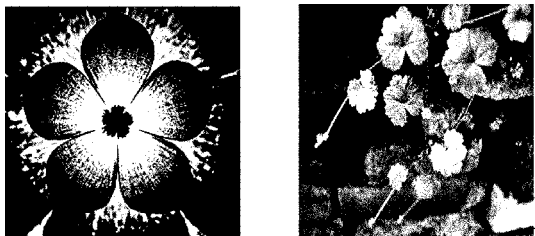


Fig. 6 Maximum entropy single threshold segmentation

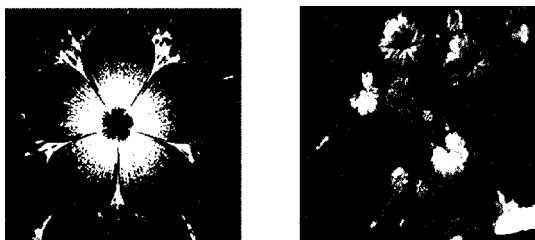


Fig. 7 Maximum entropy dual-threshold segmentation

采用蒙特卡罗方法对误分割误差以及处理时间对比分析,结果如表 1 所示。

Table 1 Processing method comparison

method	FSE	process time/s
2-D maximum entropy threshold segmentation	0.0146	4.3019
maximum entropy threshold segmentation	0.1052	7.2656
maximum entropy double segmentation	0.08465	8.5643

从表 1 中可以看出,2 维最大熵最佳阈值分割方法的误分割误差最小,根据误分割误差的含义越小就代表失真越少,因此,2 维最大熵最佳阈值分割方法能够较好地保持图像信息。在处理时间上,2 维最大熵最佳阈值分割耗时比较少,这是由于本文中使用了递推优化运算,减少了重复性数据处理。

3 小 结

采用像素灰度的分布信息和其领域空间的 2 维

最大熵,结合准则函数确定最佳阈值分割图像,通过递推优化计算减少数据的复杂性,当互信息量达到最大可得最佳的分割结果,实验仿真显示,本文中的算法提高了图像的分割精度,抗噪能力强,同时误分割误差最小。

参 考 文 献

- [1] LIU Y, ZHAO Y L. Quick approach of multi-threshold Otsu method for image segmentation [J]. Journal of Computer Applications, 2011, 31(12): 3363-3365 (in Chinese).
- [2] CHEN L Ch. Fast thresholding for image segmentation based on 0~1 programming [J]. Computer Engineering and Applications, 2012, 48(10): 197-199 (in Chinese).
- [3] TAN Y M, HUAI J Zh, TANG Zh Sh. Edge-guided segmentation method for multiscale and high resolution remote sensing Image [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2010, 29(4): 312-315 (in Chinese).
- [4] XU Sh H, LIU J P, HU M Y. Automatic building detection in color aerial images based on region segmentation [J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition), 2010, 29(6): 1058-1061 (in Chinese).
- [5] ZHANG Q H, LI G M, LIN B H, et al. Threshold image segmentation based on maximum entropy-variance model [J]. Computer Technology and Development, 2011, 21(6): 43-45 (in Chinese).
- [6] CHEN Sh Y, ZHANG Sh L. Detection of news captions based on gray-scale difference statistics and two-dimensional maximum entropy threshold [J]. Application Research of Computers, 2011, 28(8): 3195-3197 (in Chinese).
- [7] XU L T, XU X M. A calcification detection method based on two-dimensional entropic thresholding [J]. Computer Simulation, 2010, 27(9): 255-257 (in Chinese).
- [8] GUO M Sh, LIU B H. 2-D maximum entropy method in image segmentation based on chaos genetic algorithm [J]. Computer Technology and Development, 2008, 18(8): 101-104 (in Chinese).
- [9] WU Y Q, WU J M, ZHAN B Ch. An effective method of threshold selection for small object image [J]. Acta Armamentarii, 2011, 32(4): 469-475 (in Chinese).
- [10] ZHANG X M, ZHANG A L, ZHENG Y B, et al. Improved two-dimensional maximum entropy image thresholding and its fast recursive realization [J]. Computer Science, 2011, 38(8): 278-283 (in Chinese).
- [11] CHEN J, ZHU H. A method of image segmentation based on mutual information and threshold iteration [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2011, 35(3): 641-644 (in Chinese).
- [12] LU Zh L, LI R L, LI T, et al. Infrared image denosing based on total variation theory [J]. Laser Technology, 2012, 36(2): 194-197 (in Chinese).