

基于二维直方图的曲线分割法

张书真¹, 向晓燕¹, 赵英男², 宋海龙³

(1 吉首大学 物理科学与信息工程学院, 湖南 吉首 416000; 2 南京信息工程大学 计算机与软件学院, 江苏 南京 210044;
3 吉首大学 信息管理与工程学院, 湖南 张家界 427000)

摘 要: 针对传统十字分割模型对于二维直方图的划分不合理, 提出一种曲线分割模型, 并通过多条线段拟合简化该模型. 在分割阈值的求解过程中, 将二维阈值转换为一维阈值, 且为获得快速算法, 采用了迭代和优化搜索策略. 实验表明, 曲线分割模型比十字分割模型具有更优的抗噪性能, 对于图像边缘形状保持得好, 并且此算法的运算量大大降低.

关键词: 曲线分割模型; 十字分割模型; 拟合; 阈值; 迭代; 优化搜索

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)09-0020-04

Curve Segmentation Algorithm Based on Two-Dimensional Histogram

ZHANG Shu-zhen¹, XIANG Xiao-yan¹, ZHAO Ying-nan², SONG Hai-long³

(1 College of Physics Science and Information Engineering, Jishou University, Jishou 416000, China;
2 College of Computer and Software, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;
3 College of Information Management and Engineering, Jishou University, Zhangjiajie 427000, China)

Abstract: A curve segmetation model is presented, which overcomes the unreasonable division of two-dimensional histogram based on the traditional cross segmentation model. The simplified model is also get by multi-line fitting. In the process of solving the threshold, the algorithmn transfer the two-dimentional threshold to one-dimentional threshold. And in order to get the fast calculation, an iterative method and an optimizing search strategy is used. Compared with the cross segmetation model, the curve segmentation model has the better performance of anti-noise. It maintains the better shape of image edge, and the computation of algorithm is greatly reduced.

Key words: curve segmentation model; cross segmentation model; fitting; threshold; iteration; optimizing search

1 引言

图像分割是图像处理和计算机视觉中的一项基本且关键的技术, 其中阈值法因其实现简单、计算量小、性能较稳定等优点被广泛采用. 最初的阈值法是从图像的一维灰度直方图出发来确定分割阈值, 这种方法虽然速度快, 但当图像存在噪声干扰时, 灰度直方图往往没有明显的波峰和波谷, 图像分割效果不理想. 人们开始关注基于二维直方图的阈值法, 该方法既利用了像素点的灰度分布信息, 又考虑到像

素点邻域空间相关信息, 因此有较好的抗噪能力, 适合低信噪比图像的分割, 但是由于要在二维空间搜索阈值, 运算量很大, 难以用于实时处理系统中. 由于传统的基于二维直方图的分割都是在确定阈值后, 通过阈值点做出两条与坐标轴平行的直线来进行图像分割, 故称其为十字分割模型, 该模型假设了阈值附近部分对角线区域内的像素点出现概率为零, 这显然与实际情况不符, 因此分割结果不够准确. 本文提出一种更为合理的曲线分割模型, 并采用快速迭代和优化搜索策略, 提高本算法的运算

速度^[1].

2 曲线分割模型

2.1 二维直方图

设图像尺寸为 $M \times N$, 图像灰度级为 L , 以 $f(x, y)$ 表示图像上坐标为 (x, y) 的像素的灰度值, 以 $g(x, y)$ 表示图像上坐标为 (x, y) 的像素的 $k \times k$ 邻域的平均灰度值, 则有

$$g(x, y) = \frac{1}{k^2} \sum_{m=-\frac{k}{2}}^{\frac{k}{2}} \sum_{n=-\frac{k}{2}}^{\frac{k}{2}} f(x+m, y+n) \quad (1)$$

以 $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$ 组成的二元组 (i, j) 来定义二维直方图, 直方图中任意一点的值定义为 p_{ij} , 它表示二元组 (i, j) 发生的频率, 则

$$p_{ij} = \frac{c_{ij}}{M \times N} \quad (2)$$

式中, c_{ij} 是 (i, j) 出现的频数, $0 \leq i, j \leq L-1$,

$$\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p_{ij} = 1.$$

2.2 曲线分割模型

在二维直方图中, 对于每个灰度级涉及 L 个可能的取值, 因此实际中应有 L 个阈值, 即 L 个灰度级的阈值分别为 $(0, t_0), (1, t_1), (2, t_2), \dots, (L-1, t_{L-1})$, 将这些点连接起来, 在二维直方图上对应着一条曲线. 考虑到目标、背景集中分布在对角线附近, 可得曲线分割模型如图 1 所示, 区域 I 和区域 II 对应于目标或背景^[2].

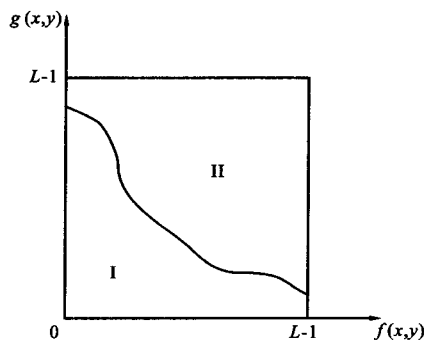


图1 曲线分割模型示意图

2.3 直方图区域的重新划分

传统的十字分割模型由于忽略阈值点附近部分对角线区域的联合概率, 分割结果不够准确, 因此要对直方图区域进行重新划分^[3]. 如图 2 所示, 若作四条平行于对角线的直线, 将二维直方图区域分成五部分, 则这五部分具有如下特点:

(1) C_0 区域处于对角线附近, 表明该区域像素点灰度值与邻域平均灰度值基本相同, 因此可认为

是目标或背景所在区域;

(2) C_1, C_2 区域, 其像素点的灰度值与邻域平均灰度值存有一定差别, 因此可认为是目标与背景相接的边缘区域;

(3) C_3, C_4 区域, 其像素点灰度值与邻域平均灰度值差异很大, 因此对应噪声区域.

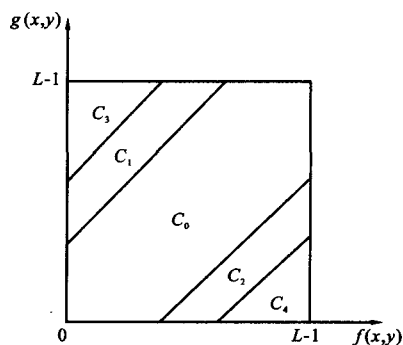


图2 直方图区域重新划分示意图

2.4 线段拟合的简化分割模型

在曲线分割模型中, 若将每个灰度级的阈值都直接计算出来, 则计算量庞大, 无法满足实时处理的需要, 为此必须对曲线模型进行分段拟合. 拟合过程中, 考虑到直方图区域的重新划分, 得到简化曲线分割模型如图 3 所示, 图中的各实线线段组合构成分割曲线.

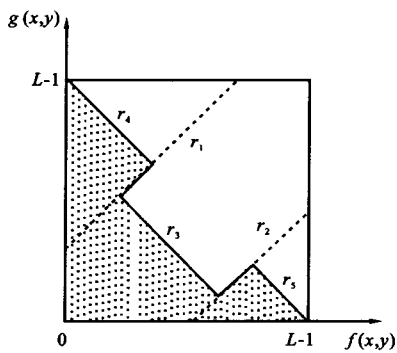


图3 直线拟合后的简化曲线模型

模型的具体说明如下:

(1) 虚线 r_1 与 r_2 之间所夹部分对应目标与背景区域, 其他部分为噪声区域, 而紧邻虚线 r_1, r_2 的附近区域应为图像边缘所在区域, 值得注意的是虚线 r_1, r_2 不一定关于对角线呈对称分布;

(2) 设基于二维直方图的阈值分割法得到的最佳阈值为 (s^*, t^*) , 则通过 (s^*, t^*) 作对角线的垂线, 并与 r_1, r_2 相交得到线段 r_3 , 线段 r_3 将图像的主要部分——目标与背景分开;

(3) 设图像中目标区域像素点的灰度值小, 背

景区域像素点灰度值大,若用 s 表示像素点灰度值,用 t 表示邻域灰度值,则对于噪声区中各点 (s, t) ,当 $s > t$ 即表示该噪声点灰度值大,而其邻域灰度值小,因此该点应为目标区域中的噪声,反之 $s < t$ 表示该噪声点灰度值小,其邻域灰度值大,该点应为背景区域中的噪声.为此我们通过 $(0, L-1)$ 和 $(L-1, 0)$ 两点分别作对角线的垂线,并与 r_1, r_2 相交得到线段 r_4, r_5 , 线段 r_4, r_5 将噪声区域进一步划分到目标和背景中^[4].

3 快速二维 Otsu 算法

3.1 二维 Otsu 算法

在二维 Otsu 算法^[5-6]中,设图 1 中区域 I 为目标区,区域 II 为背景区,则目标和背景两类出现的概率分别为

$$P_1 = \sum_{(i,j) \in I} p_{ij} \quad (3)$$

$$P_2 = \sum_{(i,j) \in II} p_{ij} \quad (4)$$

目标和背景对应的均值矢量为

$$\mu_1 = (\mu_{1i}, \mu_{1j})^T = \left(\sum_{(i,j) \in I} ip_{ij}/P_1, \sum_{(i,j) \in I} jp_{ij}/P_1 \right)^T \quad (5)$$

$$\mu_2 = (\mu_{2i}, \mu_{2j})^T = \left(\sum_{(i,j) \in II} ip_{ij}/P_2, \sum_{(i,j) \in II} jp_{ij}/P_2 \right)^T \quad (6)$$

二维直方图上总的均值矢量为

$$\mu_T = (\mu_{Ti}, \mu_{Tj})^T = \left(\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} ip_{ij}, \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} jp_{ij} \right)^T \quad (7)$$

则有

$$P_1 + P_2 = 1 \quad (8)$$

$$\mu_T = P_1\mu_1 + P_2\mu_2 \quad (9)$$

定义类间的离差矩阵为

$$S_B = P_1[(\mu_1 - \mu_T)(\mu_1 - \mu_T)^T] + P_2[(\mu_2 - \mu_T)(\mu_2 - \mu_T)^T] \quad (10)$$

利用 S_B 的迹作为类间的离散测度,则有

$$\begin{aligned} \text{tr} S_B &= P_1[(\mu_{1i} - \mu_{Ti})^2 + (\mu_{1j} - \mu_{Tj})^2] + \\ &P_2[(\mu_{2i} - \mu_{Ti})^2 + (\mu_{2j} - \mu_{Tj})^2] = \\ &\frac{(\mu_i - P_1\mu_{Ti})^2 + (\mu_j - P_1\mu_{Tj})^2}{P_1(1 - P_1)} \end{aligned} \quad (11)$$

式中, $\mu_i = \sum_{(i,j) \in I} ip_{ij}$, $\mu_j = \sum_{(i,j) \in I} jp_{ij}$.

最佳阈值 (s^*, t^*) 满足

$$\text{tr} S_B(s^*, t^*) = \max_{0 \leq s, t \leq L-1} \{\text{tr} S_B(s, t)\} \quad (12)$$

3.2 快速迭代与搜索

求最佳阈值时,对于每个 (s, t) 都要计算 $P_1(s, t)$ 、 $\mu_i(s, t)$ 和 $\mu_j(s, t)$, 在传统的二维 Otsu 算法中每次计算都是从 $(0, 0)$ 累加到 (s, t) , 这过程造成了大量重复计算. 由图 3 可知, 最佳阈值实际位于斜线 r_3 上, 而 r_3 与对角线垂直, 满足方程

$$g(x, y) = -f(x, y) + s + t \quad (13)$$

这样新的阈值分类准则只与 $s + t$ 有关, 可以将 $s + t$ 整体作为一个阈值, 从而将二维阈值转换成一维阈值. 如图 4 所示, (s, t) , (s', t') 与 (s'', t'') 在同一条直线上, 将 $s + t$ 作为整体阈值 T , 则 $T = s + t = s' + t' = s'' + t''$. 当 T 为偶数时, 可通过对角线上的 (s', t') 点作斜线 r_3 , 当 T 为奇数时, 可通过次对角线上的 (s'', t'') 点作斜线 r_3 .

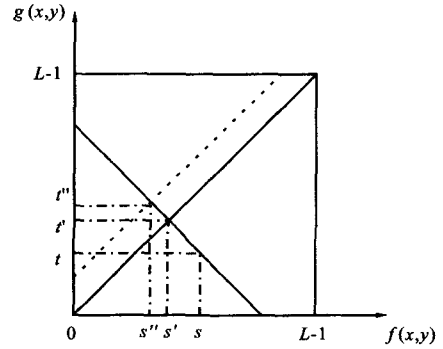


图 4 阈值斜线上各点与对角线的关系

由于寻找的是斜线方程, 迭代过程亦在与对角线垂直的斜线方向进行. 若设 $P_1(0, 0) = p_{ij}(0, 0)$, 则有

$$P_1(s, s-1) = P_1(s-1, s-1) + \sum_{i+j=2s-1} p_{ij} \quad (14)$$

$$P_1(s, s) = P_1(s, s-1) + \sum_{i+j=2s} p_{ij} \quad (15)$$

同理可设 $\mu_i(0, 0) = \mu_j(0, 0) = 0$, 则有

$$\mu_i(s, s-1) = \mu_i(s-1, s-1) + \sum_{i+j=2s-1} ip_{ij} \quad (16)$$

$$\mu_i(s, s) = \mu_i(s, s-1) + \sum_{i+j=2s} ip_{ij} \quad (17)$$

$$\mu_j(s, s-1) = \mu_j(s-1, s-1) + \sum_{i+j=2s-1} jp_{ij} \quad (18)$$

$$\mu_j(s, s) = \mu_j(s, s-1) + \sum_{i+j=2s} jp_{ij} \quad (19)$$

采用迭代方法后, $P_1(s, t)$ 、 $\mu_i(s, t)$ 和 $\mu_j(s, t)$ 每个量的计算复杂性由原来的 $O(L^2)$ 降低为 $O(L)$, 而对于最优阈值的搜索只须遍历主对角线和次对角线上的点, 搜索范围由 $L \times L$ 个点降至 $2L$

- 1 个点,因此大大提高了运算速度.

4 算法的实现

算法的实现步骤如下:

Step1:确定线段 r_1, r_2 ;

(1) 对原始图像进行边缘检测,缘检测中采用对噪声具有一定抑制能力的 Isotropic Sobel 算子,得到梯度图像后将其二值化,以获得边缘点;

(2) 在二维直方图上找到(1) 中边缘点对应的位置,将这些点分成 $s < t$ 和 $s > t$ 两类,对这两个类分别计算它们在二维直方图上的质心 (s_1, t_1) 和 (s_2, t_2) ;

(3) 分别过 (s_1, t_1) 、 (s_2, t_2) 作平行于对角线的直线,与直线 $g(x, y) = 0$ 、 $f(x, y) = L - 1$ 、 $f(x, y) = 0$ 、 $g(x, y) = L - 1$ 相交得到线段 r_1, r_2 .

Step2:确定线段 r_3 ;

(1) 通过快速二维 Otsu 法寻找到最优阈值点 (s^*, t^*) ;

(2) 过 (s^*, t^*) 点作对角线的垂线,与线段 r_1, r_2 相交得到线段 r_3 .

Step3:确定线段 r_4, r_5 :此时通过 $(0, L - 1)$ 和 $(L - 1, 0)$ 两点分别作对角线的垂线,并与 r_1, r_2 相交得到线段 r_4, r_5 .

Step4:实现图像分割:如图 3 中所示,将带点区域内像素点的灰度级设为 0,将另一区域内像素点的灰度级设为 255 即可.

5 实验结果及分析

实验中,分别采用十字分割模型和曲线分割模型对含噪图像进行分割,效果如图 5 所示.从图中可以看出,曲线分割模型在噪声去除上明显优于十字分割模型,若仔细观察分割后的图像边缘,曲线模型分割后的目标边缘,其形状保持得更好些.

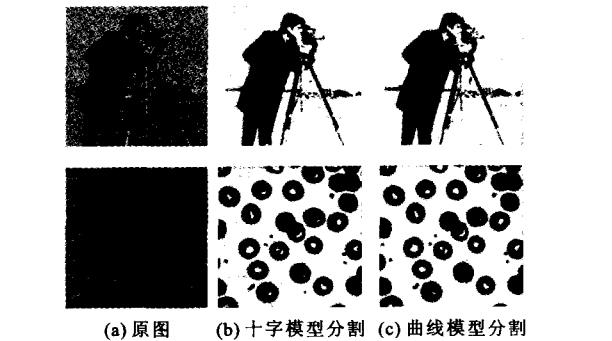


图5 十字分割模型与曲线分割模型实验效果比较

表 1 列出了传统 Otsu 算法与本文 Otsu 算法所获阈值与所耗时间的比较,由于将二维阈值转换为一维阈值,且采用了迭代和优化搜索策略,本算法运算时间仅为传统方法的 0.5%.虽然整个分割方法中增加了确定线段 r_1, r_2 的步骤,但由于边缘检测采用简单的模板运算,对于整个算法而言并未增加太多工作量.

表 1 两种算法阈值及运算时间的比较

含噪图像	尺寸	传统 Otsu 法 ^[2]		本文算法	
		阈值	时间/s	阈值	时间/s
照相	256×256	(134,119)	87.657	(125,125)	0.043
细胞	272×265	(117,101)	86.942	(107,108)	0.039

6 结束语

本文提出一种针对二维直方图的曲线分割模型,与十字模型相比,本文的分割模型对二维直方图的划分更为合理.为简化计算,文中通过多条线段拟合得到简化曲线模型.在阈值的确定过程中,为提高运算速度,将二维阈值转换为一维阈值,并采用迭代和无失真优化搜索策略.实验证明,曲线分割模型比十字分割模型的抗噪声性能要好很多,对图像边缘部分的形状保持方面也要好些.虽然算法中增加了边缘检测的处理,但耗时最多的阈值确定上运算时间大大降低,因此图像分割的速度仍然远远优于传统的十字分割模型^[7].本文的模型是对曲线进行分段直线拟合,如何拟合更合理的曲线分割模型,仍是个需要思考的问题.

参考文献:

[1] Sahoo P K, Soltani S, Wong A K C, et al. A survey of thresholding techniques[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1988,41(2):233-260.

[2] 刘健庄,栗文青. 灰度图像的二维 Otsu 自动阈值分割法[J]. 自动化学报,1993,9(1):101-105.

[3] 吴一全,吴文怡,潘喆. 二维最大类间方差阈值分割的快速迭代算法[J]. 中国体视学与图像分析, 2007, 12(3): 216-220.

[4] 汤辉,许伦辉,汤青波. 退火遗传算法在交通图像分割中的应用研究[J]. 微电子学与计算机, 2008,25(8):22-24.

[5] 赵凤,范九伦. 一种结合二维 Otsu 法和模糊熵的图像分割方法[J]. 计算机应用研究,2007,24(6):189-191.

[6] 王永波,陈继荣. 二维 Otsu 阈值分割算法的改进与应用[J]. 计算机仿真, 2008,25(4):263-266.

- cation, 1996, 8(6):481-500.
- [2] Anthony Vetro, Charilaos Christopoulos, Huifang Sun. Video transcoding architectures and technique: an overview [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2003(3):18-29.
- [3] Shen B, Sethi I K, Vasudev B. Adaptive motion vector re-sampling for compressed video downscaling [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol, 1999, 9(6):929-936.
- [4] Youn J, M T Sun, Lin C W. Motion vector refinement for high-performance transcoding[J]. IEEE Trans. On Multimedia, 1999, 1(1):30-40.
- [5] Zhu S, Ma K K. A new diamond search algorithm for fast block matching motion estimation[J]. IEEE Trans. Image Processing, 2000, 9(2):287-290.
- [6] 汪烈军, 覃锡忠. 一种改进的快速块匹配运动估计算法[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(6):204-206.
- [7] Ngo C W, Ma Y F, Zhang H J. Video summarization and scene detection by graph modeling[J]. IEEE Trans. on Circuits Syst for Video Technology, 2005, 15(2):296-305.
- [8] Ma Y F, Zhang H J, Li M J. A user attention model for video summarization[J]. ACM, Multimedia, 2002, 1(6):533-541.

作者简介:

沈晓东 男, (1979-), 博士研究生. 研究方向为图像处理、视频编解码等.

张太镒 男, (1944-), 教授. 研究方向为信号处理、图像视频处理与系统等.

李小和 男, (1974-), 博士研究生. 研究方向为图像处理、视频编解码等.

(上接第 23 页)

- [7] 李刚, 贺昱曜, 赵妍. 基于大津法和互信息量的路面破损图像自动识别算法[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(7):242-243.

作者简介:

张书真 女, (1977-), 硕士, 讲师. 研究方向为图像处理、模

式识别.

向晓燕 女, (1976-), 讲师. 研究方向为图像处理、控制理论.

赵英男 女, (1973-), 博士, 副教授. 研究方向为图像处理、模式识别.

宋海龙 男, (1977-), 硕士. 研究方向为图像处理、编码密码理论.