

基于神经网络的灰度图像阈值分割方法

薛岚燕, 郑胜林, 潘保昌, 陈箫枫

(广东工业大学 信息工程学院, 广东 广州 510640)

摘要: 对于一幅目标区域和背景区域在灰度上有较明显差异的图像, 为了把目标从背景中分离出来, 常利用直方图谷点作为分割阈值来分割图像. 本文采用一种基于神经网络的线性搜索的方法来确定直方图的谷值可以得到最优的阈值来分割图像, 克服了用常规的极小值阈值法确定的极小值不稳定和不可靠的缺点, 并对实际图像进行分割处理. 实验结果表明采用这种新方法来搜索谷值可以得到全局极小值, 用于分割图像可以把目标从背景中分离出来, 并取得了满意的结果.

关键词: 图像处理; 直方图; 线性搜索; 黄金分割搜索; 阈值分割

中图分类号: TP391. 41

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2005)04-0067-06

图像分割是图像处理中的重要环节, 也是比较困难的环节. 准确的分割影响甚至决定分析与理解的准确程度, 而分割问题的困难在于图像数据的模糊和噪声的干扰. 至今还没有普适性的判断分割是否完全正确的准则, 分割的好坏必须从分割的效果来判断. 不同的应用场合应具体分析, 根据实际情况选择适合的方法. 对于目标区域和背景区域在灰度上有较明显差异的图像, 通常根据直方图谷点来确定阈值分割图像. 确定直方图谷点位置的方法很多, 但多数情况下, 噪声干扰使谷点的位置难以判定或者结果不稳定可靠. 本文提出了一种基于神经网络中线性搜索的方法来确定直方图的谷值, 并对实际图像进行实验, 搜索谷值作为分割阈值来分割图像. 本算法首先对样本图像的直方图进行高斯滤波做平滑, 然后对滤波后的直方图线性搜索谷点, 并利用搜索到的谷点作为阈值对图像进行二值分割.

1 灰度阈值法

灰度阈值法是指确定一个灰度门限来区分物体与背景, 在门限之内的像素属于物体, 其他则属于背景. 这种分割方法对于物体与背景之间存在明显差别(对比)的景物十分有效. 实际上, 在任何实际应用的图像处理系统中, 最终都要用到阈值化技术.

设给定的灰度图像 $f(x, y) \in [t_1, t_2]$, 运用一定的算法确定一个阈值或子集 $t \subset [t_1, t_2]$, 根据各像素灰度是否属于 t 而将其分类, 即

$$g(x, y) = \begin{cases} a_{xy}, f(x, y) \in t, \\ b_{xy}, f(x, y) \notin t. \end{cases}$$

其中, a_{xy} , b_{xy} 分别为指定值或原灰度值. 如果取 $a_{xy} = 1$, $b_{xy} = 0$, 则分割后的图像是二值图像, 目标与背景之间具有最大对比度. 如果取 $a_{xy} = f(x, y)$, $b_{xy} = 0$, 则分割后的图像背景灰度为 0, 目标保留了原灰度, 属背景干净的目标图像^[1].

分割阈值的正确选择非常重要, 直接影响分割的精度以及图像描述、分析、理解、识别的正

确性. 如果目标区域和背景区域在灰度上有较明显的差异, 通常根据双峰直方图选取两峰之间的谷所对应的灰度值作为阈值来将目标和背景分开. 利用直方图搜索谷值通常采用极小值点阈值法. 极小值点阈值法是将直方图的包络看作一条曲线, 借助求曲线极小值的方法来选取直方图的谷.

设用 $p(i)$ 代表直方图, 那么极小值点应满足:

$$\frac{\partial p(i)}{\partial i} = 0 \text{ 和 } \frac{\partial^2 p(i)}{\partial i^2} > 0. \tag{1}$$

这些极小值点对应的灰度值就可用作分割阈值. 但是运用这种方法无法找到一个全局极小值, 根据上述事实, 本文提出了一种基于神经网络的线性搜索法的搜索直方图全局极小值作为分割阈值.

2 神经网络的线性搜索法

由于一幅图像的直方图通常存在多个波峰和波谷, 因此在搜索直方图极值点时, 一般会有多个极值点出现, 而只有双峰之间的谷点的灰度作为分割阈值, 才能获得较好的分割效果. 这里采用线性搜索法来搜索谷值包括两步: 区间定位和区间缩小. 区间定位步的目的是找某个包含局部极小点的初始区间; 区间缩小步接着将缩小初始区间直到满足一定精度的极小点被定位; 然后再在最终确定的区间中搜索出极小值点作为该直方图的谷点^[2~4].

2.1 区间定位

使用一种函数比较方法去处理区间定位, 这一步如图 1 所示. 一开始计算某个初始点的性能指数, 由图中 a_1 表示. 该点表示图像的灰度值和该灰度值出现的概率的当前值. 换句话说是在计算 $p(i)$. 下一步是计算第二点的函数值, 由图中 b_1 点表示, 它距初始点距离是 ϵ 且沿初始搜索方向 t_0 . 换句话说, 是在计算 $p(i + \epsilon \cdot t_0)$. 继续计算新点 b_i 的性能指数(点之间的距离依次增加一倍). 这一过程直到连续两次计算的函数值增加时结束. 这在图 1 中用 b_3 、 b_4 表示. 此时可以知道极小点是在 a_5 和 b_5 之间. 不能将区间缩得更小, 这是因为极小值可能在 $[a_4, b_4]$ 之间或在 $[a_3, b_3]$ 之间. 这两种可能的情况如图 2(a) 所示.

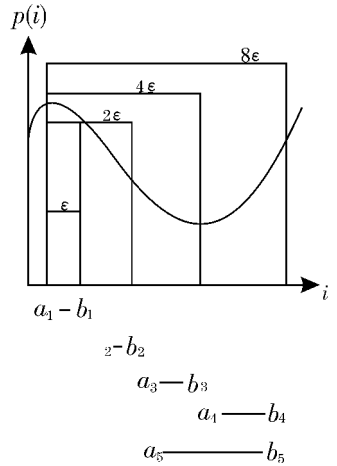


图 1 区间定位示意图

2.2 区间缩小

现在已经定位了包含极小点的区间, 线性搜索的下一步是区间缩小. 它将包括计算区间 $[a_5, b_5]$ 内点的函数值, $[a_5, b_5]$ 是由区间定位步得到的. 从图 2 中可以看出至少必须计算两个内部点的函数值以减少不确定区间的尺寸. 图 2(a) 指出一个区间的函数值计算不能提供极小点定位的任何信息. 但是, 如果计算了两个点 c 和 d (如图 2(b)), 可以缩小不确定的区间. 如果 $p(c) > p(d)$ (如图 2(b) 所示), 则极小点必定在 $[c, b]$ 区间. 反之, 如果 $p(c) < p(d)$, 则极小点在 $[a, d]$ 区间内(这里假设在初始区间只有一个极小点).

这里采用了黄金分割搜索的方法来确定内部点 c 与点 d 的位置, 它可以减少函数计算的次数. 每次迭代只需要计算一次函数值. 如图 2(b) 所示, 点 a 可以丢弃而点 c 成为外部点. 于是一个新的点 c 将在原来的点 c 和点 d 之间. 技巧是放置新的点以便尽快减少不确定性区间.

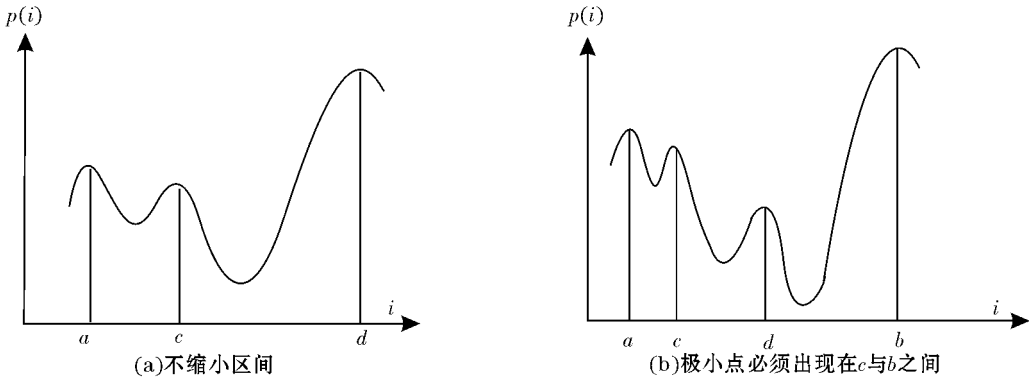


图 2 减小不确定区间的大小示意图

3 神经网络的线性搜索法在图像分割中的应用

由于一幅图像的直方图通常存在多个波峰和波谷,因此在搜索直方图极值点时,一般会有多个极值点出现,用常规的方法很难确定出一个全局极小值作为分割阈值.这里运用神经网络中搜索极小值点的线性搜索方法来搜索直方图中的谷值点,通过迭代内收敛可以得到直方图的全局极小值.由于一幅原始直方图存在许多细小毛刺,不利于“谷”的检测,因此在做线性搜索之前需要对原始直方图做高斯滤波处理,得到比较平滑的直方图.

3.1 直方图处理

图像的灰度统计直方图是 1 个 1-D 的离散函数:

$$P(i_k) = \frac{n_k}{n}, \quad k = 0, 1, \dots, L-1, \quad (2)$$

式(2)中 i_k 为原始图像 $I(x, y)$ 的第 k 级灰度值, n_k 是 $I(x, y)$ 中具有灰度值 i_k 的像素的个数, n 是图像像素总数.

3.2 高斯平滑处理

由于原始直方图中含有很多高频噪声,不利于“谷”的检测,为了更好地提取“谷”,需要对图像进行平滑,这里采用二维高斯函数 $G(r)$ 进行滤波^[5],高斯函数的波形如图 3 所示.

其中

$$G(r) = \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right). \quad (3)$$

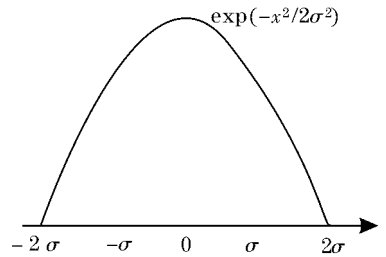


图 3 高斯函数的波形

从高斯函数的波形可以看到高斯函数有单峰,形状光滑,所以可以用高斯函数与一阶差分累加投影作卷积以此来平滑直方图中的毛刺.在实际的算法中采用离散高斯平滑算法对直方图进行平滑处理.算法如下:

$$p^*(i) = \frac{p(i) + \sum_{j=1}^{\infty} p(i-j)h(j, \sigma) + p(i+j)h(j, \sigma)}{k}, \quad (4)$$

其中 $h(j, \sigma) = \exp\left(-\frac{(j\sigma)^2}{2}\right)$, $k = 2 \sum_{j=1}^{\infty} h(j, \sigma) + 1$.

式(4)中, $p(i)$ 为原始的直方图的值, $p^*(i)$ 为平滑后的直方图的值,这里定义它为一幅图

像的灰度级数, $h(j, \sigma)$ 为高斯函数, σ 为高斯函数参数.

σ 的选择对水平方向投影图的平滑结果有重要的作用. 如果 σ 过大, 虽然直方图中的细小毛刺可以被完全融合, 但同时图像的波峰、波谷的相对位置也会发生改变. 如果 σ 过小, 许多细小毛刺不会被融合, 定位算法在找波峰、波谷时就会找到错误的位置. 所以选择适当的 σ 值非常重要, 本算法中取 $\sigma = 0.05$. 如图 4 所示, 图 4(a) 为原始直方图, 图 4(b) 为经过高斯函数滤波后的直方图, 比较这两个滤波前后的直方图, 可以观察到原始直方图中的许多细小毛刺都被滤除, 直方图变得平滑, 并且波峰、波谷的相对位置并未发生明显的改变.

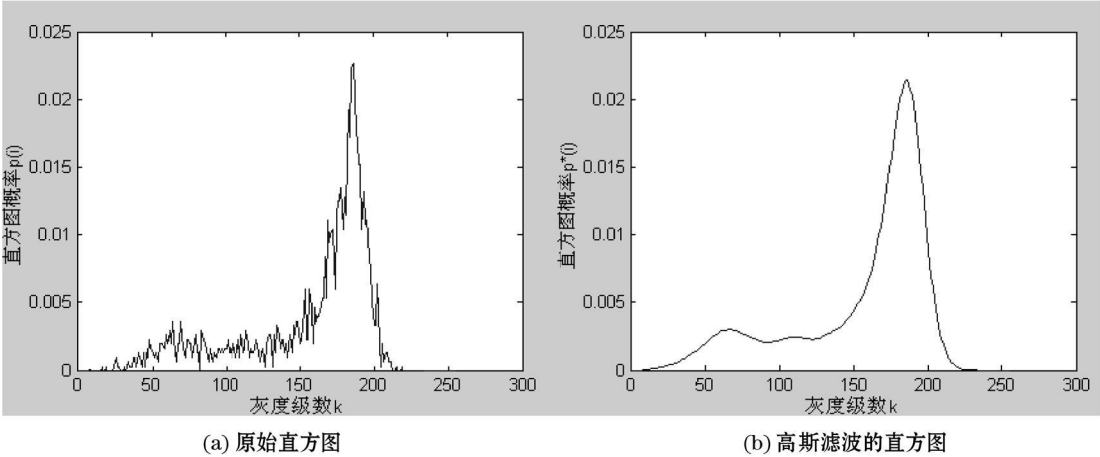


图 4 高斯滤波前后的直方图

3.3 线性搜索全局极小值点

对于一幅直方图, 可能出现多个波峰和波谷, 存在多个极小值点, 这里利用区间定位法确定出各个可能出现极小值的分区间. 区间定位法的关键在于确定区间的两个端点, 由于一幅图像的灰度级数是从 0~ 255, 通常取初始端点 $a_1 = 50$, 初始步长 $\epsilon = 1$, 按照 3.1 中介绍的方法去计算直方图的值, 如果直方图的值在连续两次计值之间递增, 则结束这一次分区间定位, 设第一个分区间的终端点为 b_1 , 将 b_1 点作为下一个分区间的初始端点, 重复上述步骤, 将直方图中可能存在极小值点的分区间全部定位出来. 对定位出的分区间比较判断, 确定出一个存在两个最大的双峰的分区间作为线性搜索的初始区间^[5]. 定位出初始区间后, 利用区间缩小法, 这里采用黄金分割搜索法来确定存在极小值的最小区间. 黄金分割搜索的方法可以减少函数计算的次数, 每次迭代只需要计算一次函数值.

黄金分割搜索算法步骤如下(其中给定的精度上限 $tol = 10^{-5}$):

初始值 $\tau = 0.618, k = 0$;

1) 设置 $c_1 = a_1 + (1 - \tau)(b_1 - a_1), p_c = p(c_1), d_1 = b_1 - (1 - \tau)(b_1 - a_1), p_d = p(d_1)$;

2) 对 k 作自加, 即 $k = k + 1$, 如果 $p_c < p_d$, 则 $a_{k+1} = a_k, b_{k+1} = d_k, d_{k+1} = c_k, c_{k+1} = a_{k+1} + (1 - \tau)(b_{k+1} - a_{k+1}), p_d = p_c, p_c = p(c_{k+1})$; 否则 $a_{k+1} = c_k, b_{k+1} = b_k, c_{k+1} = d_k, d_{k+1} = b_{k+1} - (1 - \tau)(b_{k+1} - a_{k+1}), p_c = p_d, p_d = p(d_{k+1})$;

3) 判断 $b_{k+1} - a_{k+1} < tol$ 是否成立, 如果不成立, 则转第 2 步; 如果成立, 则结束算法, 输出 p_c 和 p_d , 算法被认为收敛.

在利用黄金分割搜索法确定出最小区间 p_c 和 p_d 后, 由于在搜索过程中通过不断迭代已经收敛到极小值了, 直方图的谷值可以直接取最小区间 p_c 与 p_d 的平均值, 将直方图的谷值作为图像的分割阈值 T , 即: $T = \frac{p_c + p_d}{2}$. 确定分割阈值 T 后, 采用二值化方法来分割图像, 假设原始图像为 $I(x, y)$, 分割后的图像为 $f(x, y)$, 如果 $I(x, y) \geq T$, 则 $f(x, y) = 255$; 否则 $f(x, y) = 0$.

4 实验结果及分析

本文分别选取了两幅尺寸为 256 级灰度像素的车牌和身份证图像进行实验, 如图 5、图 6 所示. 实验结果表明, 本文采用高斯滤波函数对直方图做平滑处理, 效果较好, 去除了毛刺; 采用这种方法来搜索的谷值对于目标(或背景)灰度有明显差别的图像有较好的分割效果, 可以把目标从背景中分离出来.

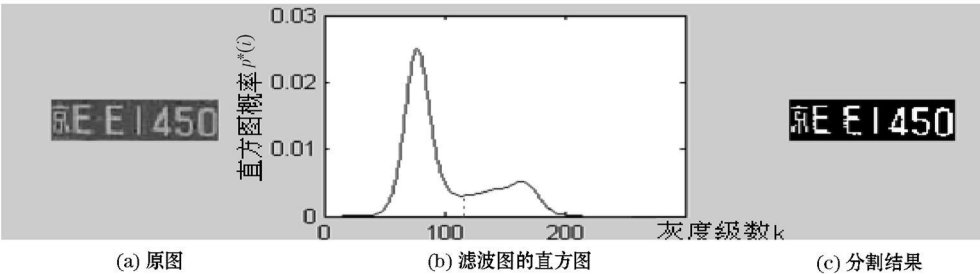


图 5 根据直方图谷点确定阈值并分割车牌

图 5 是对车牌进行处理的结果, 图 5(a) 为原始的车牌图像, 图 5(b) 为经过高斯滤波后的直方图, 图 5(c) 为分割后的车牌图像. 实验中, 首先对原始的车牌图像求直方图, 并采用高斯滤波函数对其进行平滑处理, 图 5(b) 即为滤波后的直方图, 经过处理后的直方图毛刺已基本被去除, 得到比较光滑的曲线, 直方图中有比较明显的双峰, 分别对应于目标的中心灰度和背景的中心灰度, 然后采用线性搜索法, 搜索到双峰之间的谷点对应边界的灰度作为全局极小值, 全局极小值 $T = 137$, 用这个值作为分割阈值来分割车牌, 可以将车牌中的字符与背景分离开来.

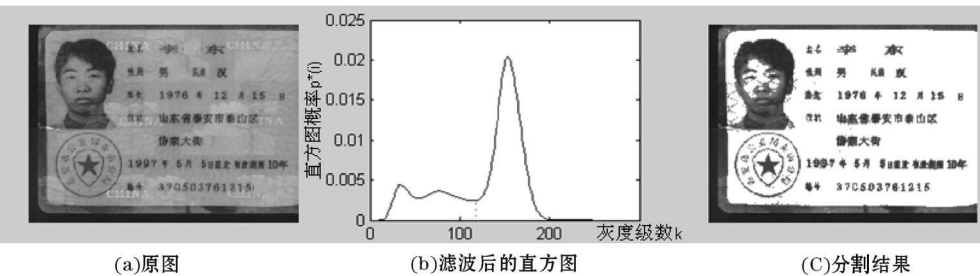


图 6 根据直方图谷点确定阈值并分割身份证

图 6 按照上述同样的方法对身份证进行处理. 从图 6(b) 可以看到, 直方图中存在有比较明显的三个峰, 两个极小值点, 采用线性搜索法能够在这两个极小值点中搜索到一个最佳阈值来分割图像, 全局极小值 $T = 128$, 用这个值作为分割阈值来分割身份证, 可以将身份证中的信息与背景分离开来.

5 结论

根据直方图谷点确定阈值来分割图像是图像分割中常用的一种方法. 一幅图像的直方图通常存在多个波峰和波谷, 因此在搜索直方图极值点时, 一般会有多个极值点出现, 而用常规的方法很难确定出一个全局极小值作为分割阈值. 本文在神经网络线性搜索法的基础上对极小值阈值法做了改进来搜索直方图的谷值, 在多个极小值点的情况下, 可以搜索到一个最佳分割阈值, 并对图像进行二值化处理, 取得了比较满意的实验结果.

参考文献:

- [1] 张桂林, 陈益新. 基于灰度与边缘的图像分割方法[J]. 华中理工大学学报, 1994, (5): 57-60.
- [2] 田军, 虞厥邦. 适合于 BP 学习的共轭梯度法[J]. 电子科技大学学报, 1994, (5): 25-27.
- [3] 万建伟, 皇甫堪. 一种新的采用神经网络的图像分类方法研究[J]. 系统工程与电子技术, 1995, (2): 35-38.
- [4] 梁慧冰, 李梅. 人工神经网络在预测领域中的应用[J]. 广东工业大学学报, 1998, 15(s1): 20-23.
- [5] 任彬, 汪炳权. 基于直方图指数平滑的阈值和峰点自动检测方法[J]. 中国图象图形学报, 1997, (4): 45-48.

A Thresholding Method for Grey Image Segmentation Based on Neural Network

XUE Lan-yan, ZHENG Sheng-lin, PAN Bao-chang, CHEN Xiao-feng

(Faculty of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: As for an image with different gray values in the object and the background, in order to separate the object from the background, the minimum of the histogram is often used as the threshold to separate the image. In this paper, a new method is adopted based on neural network's linear searching to determine the minimum of histogram. Through this method the optimal threshold is obtained and the instability and the unreliability of the minimum are conquered, which are determined by the thresholding method of the minimum. Experimental results show that adopting this new method to search for the minimum can obtain the absolute minimum, and using the optimal value to segment the image can separate the object from the background and get the satisfactory results.

Key words: image processing; histogram; linear searching; golden section searching; thresholding segmentation