

# 基于直方图指数平滑的阈值和峰点自动检测方法

任彬 汪炳权 罗斌

(安徽大学电子工程与信息科学系, 合肥 230039)

**摘要** 在阐述图象灰度分布直方图指数平滑处理的基础上, 提出了直方图阈值、峰点的自动检测算法。实验结果表明, 本文提出的方法不仅算法简单、运行速度快, 而且检测出的阈值、峰点也较为准确、合理。

**关键词** 直方图, 指数平滑, 阈值检测, 峰点检测

## 1 引言

在计算机视觉和图象分析的研究和应用中, 图象分割是一种基本的和关键的技术。在灰度直方图上取阈值分割是图象处理中常用的方法。通常的图象分割方法可分为二值和多值两种情况。在二值化方法中, 一般认为灰度直方图的分布具有双峰, 分别与图象中的背景和物体相对应, 并且双峰之间存在谷点, 当阈值取为谷点值时, 就认为对图象进行了最好的分割<sup>[1]</sup>; 多值的方法是前一种方法的推广。由于图象分割实质上是聚类问题, 直方图上峰的形状和数目可作为聚类的重要信息, 因此, 如何快速、准确地检测直方图上的阈值和峰点一直是研究者们共同感兴趣的问题。本文根据红外热图象的灰度特性, 在直方图指数平滑处理的基础上, 采用简便的算法对阈值和峰点作自动检测, 获得了满意的效果。

## 2 直方图指数平滑

灰度直方图反映图象灰度分布的统计特征, 是研究图象灰度分布的常用手段。一般来说, 直方图中谷点处的灰度值可选定为分割阈值。作为谷点, 最明显的特征是灰度值处像素频数应为局部最小, 而峰点的特征则相反。在实际应用中, 由于图象本身的复杂性或“噪声”的干扰, 直方图中常会出现一些符合谷点和峰点特征的随机干扰点, 给计算机自动

识别谷点和峰点带来了困难。为此, 在自动检测谷点和峰点之前必须采取一定措施消除这些干扰点。

### 2.1 一次指数平滑数列的构成

如将直方图中象素频数值看作离散数列, 则解决上述问题可采用加权算术平均法。设  $P_i$  表示灰度值为  $i$  的象素出现的频数, 样本数为  $N$  (对 8bit 数字图象,  $N$  为 256), 每次移动地求算术平均值所采用的频数个数为  $n$ , 则在第  $j$  点的移动平均值为

$$E_j = \frac{1}{n}(P_j + P_{j-1} + P_{j-2} + \dots + P_{j-n+1}) \\ = \frac{1}{n} \sum_{i=j-n+1}^j P_i \quad (1)$$

将式(1)写成

$$E_j = \frac{1}{n}P_j + \frac{1}{n}(P_{j-1} + P_{j-2} + P_{j-3} + \dots + P_{j-n+1} + P_{j-n}) - \frac{1}{n}P_{j-n} \\ = \frac{1}{n}P_j + E_{j-1} - \frac{1}{n}P_{j-n}$$

今假设频数序列是较平稳的, 或者忽略误差, 那么可令  $E_{j-1} \approx P_{j-n}$ , 则上式可写成

$$E_j = \frac{1}{n}P_j + E_{j-1} - \frac{1}{n}E_{j-1} \\ = \frac{1}{n}P_j + (1 - \frac{1}{n})E_{j-1}$$

当  $n=1$  时,  $\frac{1}{n}=1$ ; 当  $n \rightarrow \infty$ ,  $\frac{1}{n} \rightarrow 0$ 。故令  $a = \frac{1}{n}$ ,  $a$  介于 1 与 0 之间, 称  $a$  为平滑系数, 最终获得构造一

次指数平滑数列的递推公式为:

$$E'_j = aP_j + (1 - a)E'_{j-1} \quad (2)$$

在迭代计算  $E'_j$  时,确定初始值  $E'_0$  的最简便且常用的方法是,令  $E'_0 = P_1$  (频数序列的首数)。

### 2.2 平滑系数 $a$ 的讨论及合理选取

将式(2)递推展开可得

$$\begin{aligned} E'_j &= aP_j + (1 - a)E'_{j-1} \\ &= aP_j + (1 - a)[aP_{j-1} + (1 - a)E'_{j-2}] \\ &= aP_j + (1 - a)aP_{j-1} + (1 - a)^2E'_{j-2} \\ &= \dots \\ &= aP_j + a(1 - a)P_{j-1} + a(1 - a)^2P_{j-2} + \\ &\quad \dots + a(1 - a)^{j-1}P_1 + (1 - a)^jE'_0 \end{aligned}$$

因  $0 < a < 1$ , 则随幂次  $i$  的增加,  $a(1 - a)^i$  将按指数形式递减,最近数据  $P_j$  的权数为  $a$ , 最大,  $P_{j-1}$  的权数为  $a(1 - a)$ , 较小; ……; 越远的数据, 其权越小。所有权数之和为 1, 即

$$\sum_{n=1}^j a(1 - a)^n + (1 - a)^j = 1$$

这样的“加权修匀”, 能够体现较近的数据对当前值的影响较大, 越远的数据, 这种影响较小。可见参数  $a$  的意义实际上是数列加权平均的权数,  $a$  的取值不同, 将影响数列的平滑程度。

当  $a = 0$  时, 有

$$E'_j = E'_{j-1} = E'_{j-2} = \dots = E'_0$$

表明定出  $E'_0$  之值后, 各点的平滑值皆等于  $E'_0$ , 平滑后数列为一常数  $E'_0$ , 即经受了严重修匀。

当  $a = 1$  时, 得  $E'_j = P_j$ , 表明平滑后数列  $E'_j$  就是原来数列  $P_j$  本身, 没有经受任何修匀。

不难看出, 当  $a$  值取得较大时, 数列平滑程度将较小; 当  $a$  值取得较小时, 数列平滑程度将较大。实际应用中, 选取合理的  $a$  值, 一般采用原则上合理的多个  $a$  值 (如 0.1, 0.2, 0.3, …, 0.9) 试算的办法, 分别按下式计算其均方差 MSE:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (P_j - E'_{j-1})^2 \quad (3)$$

以 MSE 最小者为最好的  $a$  值 ( $0 < a < 1$ )。

### 2.3 二次指数平滑

从数据平滑的上述计算过程可知, 其实质是对数列进行加权平均处理, 以消除原数列中的随机干扰点。如直方图中干扰点较强烈, 数目也较多, 或者一次指数平滑所得数列  $E'_j$  还不够修匀, 可对  $E'_j$  数列取相同平滑系数作二次指数平滑处理, 公式为:

$$E''_j = aE'_j + (1 - a)E''_{j-1} \quad (4)$$

式中,  $E''_j$  迭代计算时的初始值  $E''_0$  的确定与一次指数平滑时相同, 设定  $E''_j = E'_0 = P_1$ 。顺便指出, 三次指数平滑式的构造可仿照式(4), 实验发现, 采用三次指数平滑处理所得数列与原直方图的形状有一定偏差, 因此, 实际操作时, 以二次指数平滑为宜。

## 3 自动阈值(峰点)选择算法

$P_i$  作为象频值, 将  $P_i$  与  $P_{i-1}, P_{i+1}$  相比较可知:

- 若  $P_i < P_{i-1}$  且  $P_i < P_{i+1}$  则  $i$  是谷点;
- 若  $P_i > P_{i-1}$  且  $P_i > P_{i+1}$  则  $i$  是峰点。

这种认识在实际操作中显然有些粗糙, 因为选出的谷点(峰点)未必具有合理性, 其中含有假谷点(假峰点)。为了在出现多谷(多峰)情形时判断谷点(峰点)的合理性, 可从以下两个方面给谷点(峰点)定义“评价函数”。

(1) 修改式(5)关于谷点(峰点)的规定, 让  $P_i$  与其相邻的局部邻域  $P_s$  作比较, 其中  $S = \{P_{i-1}, P_{i-2}, \dots, P_{i-m}, P_{i+1}, P_{i+2}, \dots, P_{i+m}\}$ , 参数  $m$  表示  $P_i$  左右邻域象频的范围, 通常  $m$  取 3 至 10 间的整数。设  $P_s$  中最小象频值为  $P_{smin}$ , 次小值为  $P_{smins}$ ; 最大象频值为  $P_{smax}$ , 次大值为  $P_{smaxs}$ 。若  $P_i < P_{smin}$ , 则  $i$  是谷点; 若  $P_i > P_{smin}$ , 则  $i$  是非谷点; 若  $P_i = P_{smin}$  且  $P_i < P_{smins}$ , 则  $i$  是谷点。后一种情况, 一般在直方图经指数平滑后出现“阈值平台”现象时才表现出来, 此时, 应选择阈值平台的中间值作为合理值。考虑到参数  $m$  不是很大, 所以将  $i$  选作谷点引起的误差是较小的。峰点的判断则与谷点相反, 由此可定义谷点函数  $g(i)$  或峰点函数  $P(i)$ :

$$g(i) = \begin{cases} 1, P_i < P_{smin} \text{ 或 } P_i = P_{smin}, P_i < P_{smins} \\ 0, P_i > P_{smin} \end{cases} \quad (6)$$

$$P(i) = \begin{cases} 1, P_i > P_{smax} \text{ 或 } P_i = P_{smax}, P_i > P_{smaxs} \\ 0, P_i < P_{smax} \end{cases} \quad (7)$$

式中,  $0 \leq i \leq L - 1$ ,  $L$  为图象最大灰度值。

顺便指出, 若  $P_i$  直接与  $P_s$  比较, 则有大有小。可分成两种情况, 一是  $i$  点出在由峰至谷或由谷到峰的下沿或上升沿, 这种情况可由式(6)、(7)加以判定; 二是  $i$  点出现在相邻谷点或峰点相距较近, 且  $m$  参数取值较大时, 这种情况仍可由式(6)、(7)加以判定, 选出其中的一个。当  $m$  参数取值较小时, 按上述判断规则, 相近的谷点或峰点都将选择出来, 这种情况可由下面的距离函数加以约束, 选出其中合理的谷点或峰点。

(2) 对选出的所有谷点  $g(i) = 1$  或峰点  $P(i) = 1$ , 若相邻谷点  $g(i)$  和  $g(j)$ , 或相邻峰点  $P(i)$  和  $P(j)$  之间的距离  $d = |i - j|$  较小, 表明相邻谷点或峰点靠得较近, 此时应选出其中合理的一个, 为此给出距离参数  $D$  来反映合理谷点或峰点之间应保持的最小距离, 并定义距离函数  $d(i)$

$$d(i) = \begin{cases} 1, & d > D \\ 0, & d < D \end{cases} \quad (8)$$

其中参数  $D$  可按下述方法确定, 设相邻谷点或峰点之间的最小距离为  $d_{\min}$ , 最大距离为  $d_{\max}$ , 依我们的经验,  $D$  值的选择为

$$\frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} < D < d_{\max} \quad (9)$$

综合上述讨论, 谷点或峰点的评价函数  $f(i)$  可定义为

$$f(i) = g(i)\Delta d(i) \text{ 或 } f(i) = P(i)\Delta d(i) \quad (10)$$

当  $f(i) = 1$  时, 选出的谷点或峰点最为合理, 否则加以舍弃。

从评价函数的概念出发, 可得阈值或峰点自动检测算法: ① 计算图象灰度直方图; ② 对直方图进

行指数平滑处理; ③ 令  $i = 0$  至  $L - 1$ , 按式(6)或式(7)计算谷点函数  $g(i)$  或峰点函数  $P(i)$ , 参数  $m$  取 5; ④ 根据  $g(i)$  或  $P(i)$  值, 按式(8)计算距离函数  $d(i)$ ; ⑤ 令  $k = 0$  至  $L - 1$ , 按式(10)计算评价函数  $f(k)$ , 若  $f(k) = 1$ , 将  $k$  作为选定的阈值或峰点存于数组  $th(m)$  或  $Peak(m)$  中,  $m = m + 1$ 。

### 4 实验结果

红外热图象是用不同的颜色来反映物体表面温度场的变化情况的, 当其转化为灰度图象时, 则表现为不同的灰度层次, 其直方图常具有多峰特性。图1为三幅红外热图象灰度分布直方图, 可见, 直方图中影响自动阈值或峰点选择的干扰点较多。对图1直方图选取合理的平滑系数 ( $a = 0.3$ ) 作二次指数平滑处理的结果如图2所示。处理后的灰度直方图在整体上与原直方图相比没有明显的改变, 但许多随机干扰点被消除了。采用自动阈值(峰点)检测算法对图2直方图的检测结果见表1和表2。

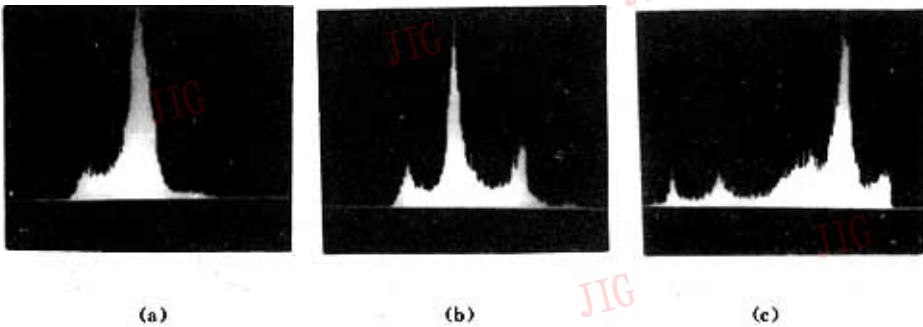


图1 灰度直方图  
Fig. 1 Gray value histogram

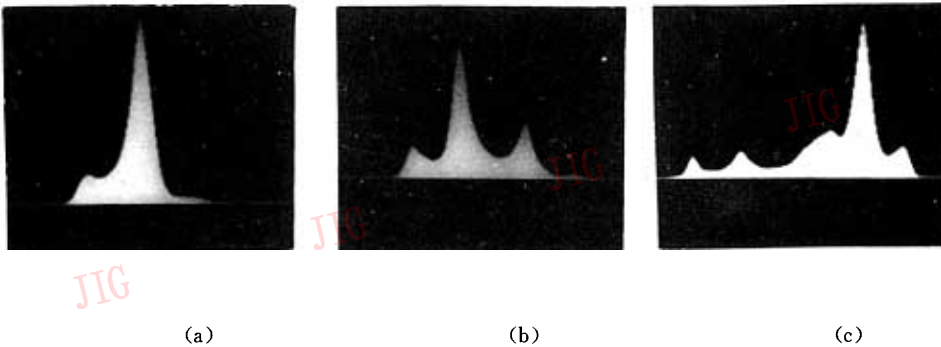


图2 直方图指数平滑处理结果  
Fig. 1 Processing result of histogram exponent smooth

表 1 自动阈值检测结果  
Table 1 Result of threshold detection

	(a)	(b)	(c)
$g(i)=1$	$g(85), g(166), g(169)$	$g(92), g(131), g(171), g(172)$	$g(78), g(79), g(80), g(107), g(108), g(161), g(162), g(189)$
$d(i)=1$	$d(85), d(166)$	$d(92), d(131), d(171)$	$d(78), d(107), d(161), d(189)$
$f(i)=1$	$f(85), f(166)$	$f(92), f(131), f(171)$	$f(78), f(107), f(161), f(189)$
th	th1=85 th2=166	th1=92 th2=131 th3=171	th1=78 th2=107 th3=161 th4=189

表 2 自动阈值检测结果  
Table 2 Result of Peak detection

	(a)	(b)	(c)
$p(i)=1$	$p(61), p(125), p(192), p(193)$	$p(77), p(108), p(152), p(183), p(184)$	$p(65), p(97), p(154), p(155), p(177), p(203)$
$d(i)=1$	$d(61), d(125), d(192)$	$d(77), d(108), d(152), d(183)$	$d(65), d(97), d(154), d(177), d(203)$
$f(i)=1$	$f(61), f(125), f(192)$	$f(77), f(108), f(152), (183)$	$f(65), f(97), f(154), f(177), f(203)$
Peak	$p_1=61$ $p_2=125$ $p_3=192$	$p_1=77$ $p_2=108$ $p_3=152$ $p_4=183$	$p_1=65$ $p_2=97$ $p_3=154$ $p_4=177$ $p_5=203$

表中:th 为选出的阈值;Peak 为选出的峰点。

## 5 结 论

直方图中阈值和峰点的检测方法有多种,本文所做的工作与通常的方法相比,主要区别在于:一是在检测之前,对直方图进行指数平滑处理,以消除随机干扰点;二是通过评价函数的概念,对阈值和峰点作合理选择。我们在红外无损检测研究工作中,采用本文提出的方法对红外热图象进行自动分割处理,获得了满意的结果。该方法对其它图象的分割处理也具有一定的参考价值。

## 参考文献

- 1 刘健庄. 基于二维直方图的图象模糊聚类分割方法. 电子学报, 1992, 20(9).
- 2 Sahoo P K, et al. A survey of thresholding techniques. CVGIP 41, 1988; 233~260.
- 3 Yanowitz S D, Bruckstein A M. A new method for image segmentation. CVGIP 46, 1989; 82~95.
- 4 Ahuja N, Rosenteld A. A note on the use of second-order gray-level statistics for threshold selection. IEEE Trans, 1978, SMC (12): 897~898.



任彬, 1987 年安徽大学无线电系毕业, 获工学学士学位, 1995 年在安徽大学电子工程与信息科学系获电路与系统专业硕士学位。主要从事计算机视觉、图象处理等教学与研究工作。发表论文 6 篇。

# The Method of Threshold and Peak Detection Based on Histogram Exponent Smoothing

Ren Bin, Wang Bingquan, Luo Bin

(Department of Electronic Engineering & Information Science, Anhui University, Hefei 230039)

**Abstract** On the basis of image gray value histogram processing by using exponent smoothing, the paper proposed an auto-detection algorithm of thresholds and peaks in histogram. Experimental results show that simple algorithm, greater running speed and reasonable thresholds and peaks can be obtained with this method.

**Keywords** Histogram, Exponent smoothing, Threshold detection, Peak detection