

文章编号: 1001-3806(2014)05-0713-05

一种改进的 2 维 Otsu 红外图像分割法研究

张建波¹, 杨恢先^{2*}, 周彤彤², 谭正华¹, 李 淼²

(1. 湘潭大学 信息工程学院, 湘潭 411105; 2. 湘潭大学 材料与光电物理学院, 湘潭 411105)

摘要: 为了在 2 维直方图上用 Otsu 方法更好地分割红外图像、提高抗噪能力, 提出了一种改进的方法。首先分析在 2 维灰度-邻域均值直方图上的分割存在不准确性, 采用 2 维灰度-梯度直方图, 且改进对邻域均值的求取算法; 然后对 Otsu 法的阈值函数进行研究, 引入类内的分离信息改进阈值函数, 并简化该阈值函数以降低运算复杂度, 通过实验给出了相应的实验对比。结果表明, 改进的方法能更好地分割目标, 运行时间较少、抗噪性更强。

关键词: 图像处理; Otsu 法; 邻域均值; 阈值函数

中图分类号: TN911.73 **文献标志码:** A **doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2014.05.029

Improved segmentation method of 2-D Otsu infrared image

ZHANG Jianbo¹, YANG Huixian², ZHOU Tongtong², TAN Zhenghua¹, LI Miao²

(1. College of Information Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China; 2. Faculty of Material and Photo-electronic Physics, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstract: In order to gain better segmentation result of infrared images, and improve the ability to resist noise, an improved 2-D Otsu method was proposed. The inaccurate segmentation in the 2-D gray-neighborhood average histogram was analyzed, and 2-D gray-gradient histogram was adopted. A new algorithm to gain neighborhood average value was put forward. Information of within-cluster was added to amend threshold function, which was further simplified to reduce the calculation complex. Experiments show that the improved method can segment the target better, gain better noise resistance and cost less time.

Key words: image processing; Otsu method; neighborhood average value; threshold function

引 言

图像分割是把图像分成互不重叠的不同区域的过程, 同一区域内具有特性相似性, 不同区域间具有特性相异性。图像分割是图像分析和理解的基础, 阈值分割因简单有效, 在图像识别与计算机视觉等领域得到广泛的应用。常用的阈值法有最大类间方差法(Otsu 法)、最大熵法和最小交叉熵法等^[1]。最大类间方差法是一种以目标和背景之间的类间方差作为分离性准则的阈值分割方法, 它依据 1 维直方图选取阈值, 由于没有利用图像的局部空间信息, 当

存在噪声干扰或灰度分布交叉时分割效果不佳, 因此, LIU 等人^[2]将其拓展到了 2 维。2 维 Otsu 法除了考虑像素点的灰度信息外, 还考虑了像素点与其邻域的空间相关信息, 在由灰度值和邻域均值灰度构建的 2 维直方图上通过一个阈值点将图像划分成 4 个矩形区域。但是计算阈值时仅仅考虑两个沿对角线的矩形区域, 忽略了位于阈值向量附近且像素灰度级与其邻域平均灰度级相近的一半区域, 并简单地认为该区域出现的概率为 0, 因此建立在该 2 维直方图上的区域划分所得到的分割结果并不准确^[3]。同时 Otsu 分割方法只考虑前景类和背景类之间的方差, 当图像在 2 维直方图上没有明显的双峰(如只出现一个尖峰)情况时, 该方法的分割性能迅速下降, 甚至不能正确地分割出目标^[4], 因此作者提出一种改进的 2 维 Otsu 分割方法, 并应用于红外图像分割。

1 2 维 Otsu 分割方法

基金项目: 湖南省教育厅科研资助项目(10C1263); 湘潭大学科研资助项目(11QDZ11)

作者简介: 张建波(1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理、人工智能。

* 通讯联系人。E-mail: yanghx87@163.com

收稿日期: 2013-09-03; 收到修改稿日期: 2013-10-16

1.1 2 维直方图

图 1a 所示为 1 幅红外图像的原始图像,参考文献[2]中引入邻域空间信息将分割直方图由 1 维推广到 2 维,在由像素灰度值和邻域均值灰度值构建的 2 维直方图上(如图 1b 所示),通过一个阈值点 (s, t) 将直方图划分成 4 个区域,如图 1c 所示。假设图像的亮像素视为背景,暗像素视为目标,则区域 0 代表目标,区域 2 代表背景,而区域 1 和区域 3 代表边缘和噪声。计算阈值时仅考虑区域 0 和区域 2,而假设区域 1 和区域 3 概率近似为 0,其存在的缺点有:(1)区域 0 和区域 2 中可能存在边缘点或噪声点被视为目标或背景内点的情况;(2)忽略了位于阈值向量附近且靠近对角线的概率分布,会将一部分目标和背景内点划分成噪声和边缘点。因此,在由灰度值和邻域均值灰度值构建的 2 维直方图上对图像进行区域划分会存在分割的不准确性。为此采用基于像素灰度和像素梯度的 2 维直方图,该直方图横坐标采用像素灰度值,纵坐标采用像素梯度值即灰度值与其邻域均值灰度值之差的绝对值^[3]。因为目标内点和背景内点像素灰度级比较均匀、梯度较小、所占比例大;边缘点和噪声点梯度较大,在整幅图像像素中所占比例相对较小,2 维灰度-梯度直方图上的区域划分的优点是不仅尽可能地包含了所有目标点和背景点,同时也进一步剔除了 2 维灰度-邻域均值直方图区域划分方法中目标和背景区域可能存在的噪声点的影响。基于灰度与灰度梯度的 2 维直方图如图 1d 所示。

设图中任意一点 (x, y) 的灰度值为 $f(x, y)$, 其

灰度级为 L , 则该点的 $m \times n$ 邻域均值灰度值 $g(x, y)$ 的求取如下式所示:

$$g(x, y) = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=-\lfloor \frac{m}{2} \rfloor}^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor} \sum_{j=-\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} f(x+i, y+j) \quad (1)$$

式中, m, n 一般取奇数, $\lfloor \cdot \rfloor$ 为取下整数。考虑 m, n 取得过大, 算法消耗的时间更长, 大部分文献里面采用 3×3 模板来求取邻域均值, 如参考文献[2]中将像素点周围所有的邻域信息都考虑在内; 参考文献[5]中只考虑水平和垂直方向的邻域信息; 参考文献[6]中只考虑对角方向上的邻域信息。灰度共生矩阵中的相关特征统计量^[7-8]反映了局部灰度之间相关性的程度, 如果像素周围的邻域信息和灰度值越接近, 则像素点分布越集中, 在直方图上的峰值越明显。显然, 将像素周围邻域信息都考虑在内和只考虑某方向上的邻域信息算法会削弱分割的效果。因此, 需要对邻域均值灰度值的求取算法进行改进。同样是在 3×3 邻域内将每个邻域灰度值与灰度值在某一范围内进行比较, 实验表明, 这一范围取为 10 时, 邻域信息能尽可能地被包含在内, 得到的邻域均值灰度值跟灰度值越接近, 2 维直方图上峰值越明显。因此邻域均值灰度值的求取算法为:(1)在 3×3 邻域范围内, 比较邻域灰度值和灰度值差值的绝对值是否在 10 范围内, 若满足条件则将该邻域灰度值计算在内, 否则不计算;(2)记录邻域范围内满足条件的个数;(3)由前两步得到的所有满足条件的邻域灰度值除以满足的个数, 即可得到像素点的邻域均值灰度值。考虑到图像难免会受噪声的

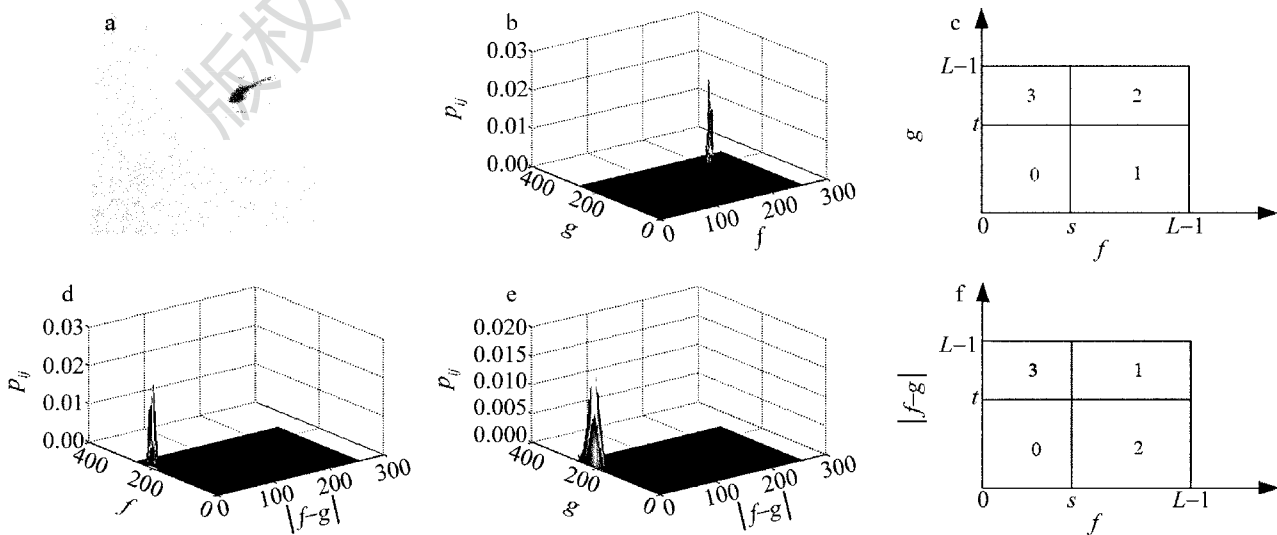


Fig. 1 Infrared image

a—original image b—original 2-D histogram c—region partition d—gray-gradient histogram e—improved gray-gradient histogram f—region partition

影响,当邻域信息有受到污染时,像素的邻域均值灰度信息就会失去其在含噪图像分割中积极的指导作用,而对于图像中的每一个像素而言,都可以找到与它具有相似邻域结构的很多像素,因此,可利用参考文献[9]中的方法找到具有相似邻域结构的像素,对其进行加权平均得到该像素的邻域信息,再通过改进的算法求邻域均值。

1.2 Otsu 方法

在改进的 2 维灰度-梯度直方图上通过阈值点 (s, t) 将直方图重新划分为 4 个区域,如图 1f 所示,则区域 0 代表目标,区域 2 代表背景,而区域 1 和区域 3 代表噪声和边缘。因此可以求得目标和背景的概率 w_0, w_1 及均值矢量 μ_0, μ_1 分别为:

$$w_0 = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t p_{ij}, w_1 = \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=0}^t p_{ij} \quad (2)$$

$$\mu_0 = [\mu_{0i} \quad \mu_{0j}]^T = \left[\sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t \frac{ip_{ij}}{w_0} \quad \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t \frac{jp_{ij}}{w_0} \right]^T \quad (3)$$

式中, μ_{0i}, μ_{0j} 分别表示目标类在灰度值和灰度梯度值两个方向上的均值矢量。

$$\mu_1 = [\mu_{1i} \quad \mu_{1j}]^T = \left[\sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=0}^t \frac{ip_{ij}}{w_1} \quad \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=0}^t \frac{jp_{ij}}{w_1} \right]^T \quad (4)$$

式中, μ_{1i}, μ_{1j} 分别表示背景类在灰度值和灰度梯度值两个方向上的均值矢量。

总体均值矢量 μ_t 为:

$$\mu_t = [\mu_{t,i} \quad \mu_{t,j}]^T = \left[\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^t ip_{ij} \quad \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^t jp_{ij} \right]^T \quad (5)$$

式中, $\mu_{t,i}, \mu_{t,j}$ 分别为在灰度值和灰度梯度值两个方向上的总体均值矢量, $p_{ij} = \frac{C_{ij}}{M \times N}, p_{ij} \geq 0, C_{ij}$ 为 2 维

坐标点的频数, $M \times N$ 为图像的大小; $\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^t p_{ij} = 1, w_0 + w_1 = 1$ 。定义类间的离散度矩阵为:

$$S_b = w_0 [(\mu_0 - \mu_t)(\mu_0 - \mu_t)^T] + w_1 [(\mu_1 - \mu_t)(\mu_1 - \mu_t)^T] \quad (6)$$

基于类间方差的准则^[10]采用离散矩阵 S_b 的迹 $S_{b,tr}$ 作为阈值函数,则:

$$S_{b,tr} = w_0 [(\mu_{0i} - \mu_{t,i})^2 + (\mu_{0j} - \mu_{t,j})^2] + w_1 [(\mu_{1i} - \mu_{t,i})^2 + (\mu_{1j} - \mu_{t,j})^2] \quad (7)$$

Otsu 法是使得离散矩阵的迹 $S_{b,tr}$ 最大时取得最佳阈值点 (s, t) 从而将图像分割开来。

2 改进的 Otsu 红外图像分割法

图 2 是图 1 所示红外图像^[11-12]的 1 维直方图,左边较平坦的代表飞机目标,右边的尖峰代表天空背景。

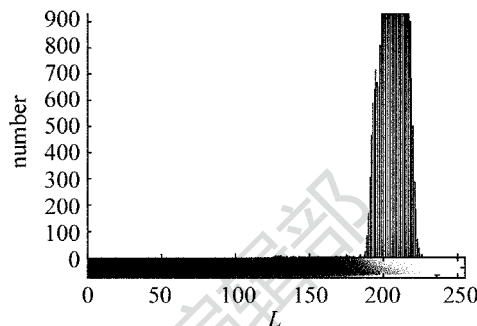


Fig. 2 1-D histogram

由(2)式~(5)式可知:

$$\begin{aligned} |\mu_{t,i} - \mu_{0i}| - |\mu_{t,i} - \mu_{1i}| &= 2\mu_{t,i} - (\mu_{0i} + \mu_{1i}) = \\ &= \frac{2w_0w_1 \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^t ip_{ij} - w_1 \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t ip_{ij} - w_0 \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=0}^t ip_{ij}}{w_0w_1} \end{aligned} \quad (8)$$

记 $A = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t ip_{ij}, B = \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=0}^t ip_{ij}$, 且将 $w_1 = 1 - w_0$ 代入到(8)式中整理可得:

$$\begin{aligned} |\mu_{t,i} - \mu_{0i}| - |\mu_{t,i} - \mu_{1i}| &= \\ &= \frac{2w_0(1 - w_0) - (1 - w_0)A - w_0B}{w_0w_1} = \\ &= \frac{(1 - 2w_0)(w_0A + w_0B - A)}{w_0w_1} \end{aligned} \quad (9)$$

由于目标所占比例小于背景所占比例,即 $w_0 < w_1$, 又有 $w_0 + w_1 = 1$, 所以 $w_0 < 1/2$, 即 $1 - 2w_0 > 0$ 。另外目标为整幅图像较暗的部分,可得关系式:

$$\mu_{0i} < \mu_{t,i} \quad (10)$$

又由(3)式得: $\mu_{0i} = \frac{A}{w_0}$, 代入到(10)式中可得

$$\frac{A}{w_0} < \mu_{t,i}, \text{ 即 } \frac{A}{w_0} < A + B. \text{ 所以 } w_0A + w_0B - A > 0.$$

因此可知(8)式 $|\mu_{t,i} - \mu_{0i}| - |\mu_{t,i} - \mu_{1i}| > 0$, 同理可证明 $|\mu_{t,j} - \mu_{0j}| - |\mu_{t,j} - \mu_{1j}| > 0$, 说明图像均值 $\mu_{t,i}$ 更接近背景区。而 OTSU 只考虑了类间的方差,采用各类中心到总体中心距离的加权和,当类间距离最大时就会使分割阈值偏向于峰大的背景一方^[13],从 1 维直方图上分析,其分割的阈值就会偏大。因此引入类内信息,类内分离信息反映的是每

一类像素中包含的分类信息^[14],当分割出来的两类内聚性最小时,表明其分割效果较好。因此分别求出两类的类内方差,并修改平方项以降低运算复杂度,得到目标类绝对差散布矩阵 δ_0 和背景类绝对差散布矩阵 δ_1 ,如下所示:

$$\delta_0 = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^l (|i - \mu_{0i}| + |j - \mu_{0j}|) p_{ij} / w_0 \quad (11)$$

$$\delta_1 = \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=0}^l (|i - \mu_{1i}| + |j - \mu_{1j}|) p_{ij} / w_1 \quad (12)$$

则目标类和背景类的类内散布矩阵 S_w 为:

$$S_w = w_0 \delta_0 + w_1 \delta_1 \quad (13)$$

由(2)式~(5)式,将(6)式类间方差法的阈值函数化简成如下形式:

$$S_{b,tr} = \frac{(\mu_i - w_0 \mu_{1,i})^2 + (\mu_j - w_0 \mu_{1,j})^2}{w_0 w_1} \quad (14)$$

修改阈值函数去掉平方项得到基于绝对差的形式,如下式所示:

$$S_{b,tr}' = \frac{|\mu_i - w_0 \mu_{1,i}| + |\mu_j - w_0 \mu_{1,j}|}{w_0 w_1} \quad (15)$$

式中, $\mu_i = w_0 \mu_{0i}, \mu_j = w_0 \mu_{0j}$

新阈值分割函数采用类间和类内的离散矩阵迹的绝对值比值形式,即:

$$S_{b,w,tr} = \frac{S_{b,tr}'}{S_{w,tr}}, \text{由(13)式} \sim \text{(15)式可以将 } S_{b,w,tr}$$

化简成如下形式:

$$S_{b,w,tr} = \frac{|\mu_i - w_0 \mu_{1,i}| + |\mu_j - w_0 \mu_{1,j}|}{w_1 \delta_0 + w_0 \delta_1} \quad (16)$$

3 实验结果及分析

分别对3幅人为加入均值为0、方差为0.01的高斯噪声的图像进行实验对比。其中图3a为普通图像,其在2维直方图上具有较好的峰值信息;图4a和图5a均为红外图像,其在2维直方图上都表现为一个尖峰;用传统Otsu方法对图像进行分割的结果如图3b、图4b和图5b所示;图3c、图4c和图5c为用Otsu方法在灰度-梯度直方图上的分割结果;图3d、图4d和图5d为提出的改进方法的分割结果。所有实验均在AMD Athlon(tm)64×2主频为2.71G的CPU、内存为1GB DDR RAM的机器上用MATLAB进行实验对比。

cameraman图像在2维直方图具有较好的峰值信息,用传统Otsu方法也可以较好地分割图中的目标,如人和相机部分,但是在传统2维直方图上的区

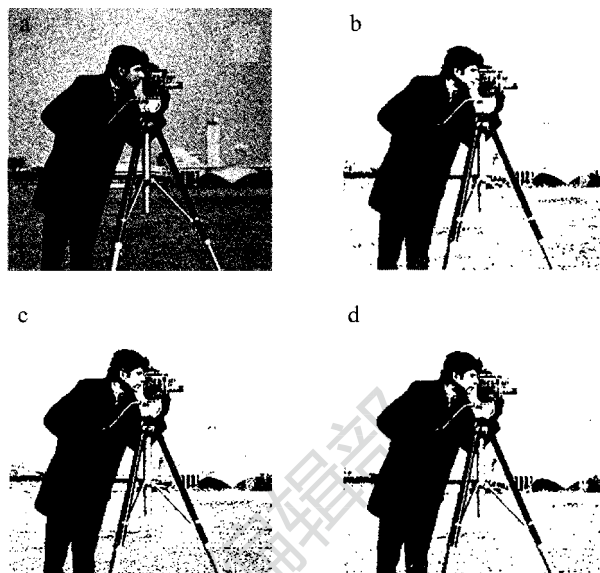


Fig. 3 Segmentation results of cameraman image
a—original image b—original Otsu method c—gray-gradient segmentation of Otsu method d—improved method

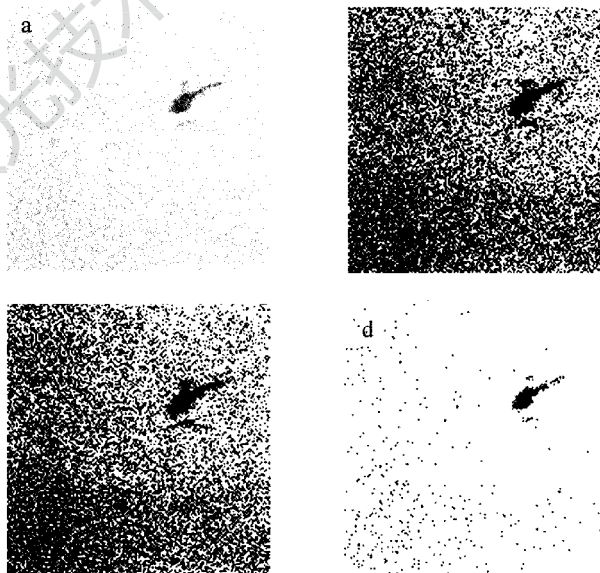


Fig. 4 Segmentation results of helicopter image
a—original image b—original Otsu method c—gray-gradient segmentation of Otsu method d—improved method

域划分存在分割的不准确性,因此相机下面部分的三角架不能被较好地分割。而建立在灰度-梯度直方图的Otsu方法以及提出的改进方法都可以较好的分割三角架,同时提出的改进方法改进了对邻域均值灰度值的求取算法,其去噪的效果更好。对于图4a和图5a两幅红外图像,因为在直方图上没有表现为较明显的峰值信息,而是呈现出一个尖峰的情况,用Otsu方法对图像进行分割的效果很差,不能较好地分割目标,而通过引入类内的分离信息对阈值函数进行修正可以较好地分割图像。表1为分

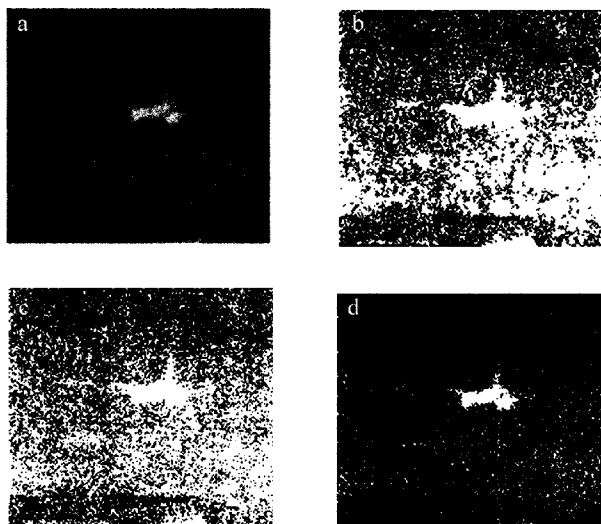


Fig. 5 Segmentation results of airliner image

a—original image b—original Otsu method c—gray-gradient segmentation of Otsu method d—improved method

Table 1 Comparison of methods in running time/s

method/image	cameraman	helicopter	airliner
original Otsu method	0.389	0.306	0.306
gray-gradient Otsu method	0.394	0.348	0.336
improved method	0.238	0.176	0.205

割图像的运行时间对比。

从表 1 可以看出,修改阈值函数平方项,降低运算的复杂度,可以提高分割的运行速度。

4 结 论

分析了传统 2 维直方图区域划分分割不准确的情况,并对邻域均值灰度值的求取算法进行改进,重新构建 2 维灰度-梯度直方图;对 Otsu 红外图像分割方法进行研究,引入类内分离信息,提出一种改进的 Otsu 红外图像分割方法。实验表明,改进的 2 维 Otsu 方法可以较好地分割红外图像,且抗噪性更强,具有一定实用价值。

参 考 文 献

[1] SEZGIN M, SANKUR B. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation [J]. Journal of

Electronic Imaging, 2004, 13(1):145-165.
 [2] LIU J Zh, LI W Q. The automatic thresholding of gray-level pictures via 2-D Otsu method [J]. Acta Automatica Sinica, 1993, 19(1):101-105 (in Chinese).
 [3] WU Y Q, ZHANG J K. Thresholding based on maximum entropic correccation of average gray level-gradient 2-D histogram [J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2009, 30(8):1675-1679 (in Chinese).
 [4] HOU Z, HU Q, NOWINSKI W L. On minimum variance thresholding [J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27(14):1732-1743.
 [5] ZHANG X M, FENG Y Zh, YAN H L, et al. Improved two-dimensional minimum error image thresholding method [J]. Computer Science, 2012, 39(8):259-262 (in Chinese).
 [6] ZHANG Y F, ZHANG Y. Automatic threshold of image segmentation using 2-D entropy [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2006, 27(3):353-356 (in Chinese).
 [7] YUAN L H, FU L, YANG Y, et al. Analysis of texture feature extracted by gray level co-occurrence matrix [J]. Journal of Computer Applications, 2009, 29(4):1018-1021 (in Chinese).
 [8] WU G, TANG Zh M, CHENG Y, et al. Object tracking method based on gray level co-occurrence matrix texture characteristic [J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2010, 34(4):459-463 (in Chinese).
 [9] ZHAO F, FAN J L, PAN X Y, et al. Two-dimensional Otsu's curve thresholding segmentation method based on gray and non local spatial gray feature [J]. Application Research of Computers, 2012, 29(5):1987-1989 (in Chinese).
 [10] JIANG Q Y, LI P, SUN L. Application of Otsu method in motion detection system [J]. Journal of Computer Applications, 2011, 31(1):260-262 (in Chinese).
 [11] KANG L Zh, CHEN F Sh, WANG D Sh, et al. Detection method for infrared small target based on mathematical morphology [J]. Optoelectronic Engineering, 2010, 37(11):26-31 (in Chinese).
 [12] WEI X, MA L H, LI Y X, et al. Infrared image enhancement algorithm based on image segmentation and platform histogram equalization [J]. Infrared Technology, 2012, 34(5):271-275 (in Chinese).
 [13] WANG Zh B, GU Y, LI Zh Q. Threshold image segmentation based on maximum scatter difference discriminant criterion [J]. Journal of Applied Optics, 2010, 31(3):403-407 (in Chinese).
 [14] ZHANG J K, WU Y Q. Image thresholding based on improved 2-D minimum within-cluster absolute difference method and its fast algorithm [J]. Signal Processing, 2010, 26(4):552-557 (in Chinese).