

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.08.014

基于 ICT 的引信图像分割算法

张道建

(中国人民解放军陆军军官学院五系 42 队, 合肥 230031)

摘要: 针对传统图像分割方法在引信图像分割上的不足, 提出一种能够兼顾类内方差和类间方差的改进二维 Otsu 算法。介绍二维 Otsu 算法, 分析比较原系统分割算法与自适应二维 Otsu 图像分割算法的优劣。实验结果表明: 改进二维 Otsu 算法既能保证目标和背景的最大离散度, 又能使目标和背景的内聚性最好, 分割效果明显优于传统方法。

关键词: 引信; 图像分割; 二维 Otsu 法; 阈值

中图分类号: TJ430.6 **文献标志码:** A

Fuze Image Segmentation Algorithm Based on ICT

Zhang Daojian

(No. 42 Team, No. 5 Department, Army officer Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: Considering the disadvantages of the traditional method in the fuze image segmentation, puts forward a method to improve two-dimensional Otsu algorithm which can consider both the interclass variance and the between class variance. Introduce the 2-D Otsu algorithm, analysis and comparison the original segmentation with the adaptive 2-D Otsu algorithm. The experimental results show that the improved algorithm not only guarantees the maximum dispersion of target and background but also make better cohesion between them, that is obviously superior to the traditional method.

Key words: fuze; image segmentation; two-dimensional Otsu algorithm; threshold

0 引言

基于 ICT 技术的便携式引信无损检测系统, 其原理是通过引信内部不同结构对 X 射线衰减程度的不同, 按照一定的反投影重建算法来重建出断层图像。主要检测装配机械引信的各种类型的炮弹、火箭弹, 判断其隔爆机构是否处于正常的保险位置, 从而为部队弹药引信的安全性提供科学依据^[1]。它的特点是不损伤引信内部结构, 具有一定的实时性且经济准确。

作为计算机视觉理论的基础, 图像分割的目的是将图像中有用的信息提取出来, 使目标与背景分离。图像分割质量的好坏直接影响着下一步的特征提取与模式识别^[2]。作为最简单常用的方法, 阈值分割技术在图像分割领域得到了广泛的应用, 其核心是阈值的选取问题。根据阈值选取方法的不同, 图像分割的主要算法有直方图阈值法、迭代法和大津法^[3]。针对弹药无损检测系统所扫描出来的引信断层图像的特点(引信结构部分有的地方灰度与背景灰度非常接近), 用通常的二值化图像分割方法很容易发生错误, 甚至会丢失整幅图像的信息。为克服这些方法在引信 CT 图像分割中的不足, 笔者提出一种新的自适应二维 Otsu 算法并降低了计算的

复杂度。通过实际系统的改进应用, 取得了很好的分割效果。

1 二维 Otsu 算法及其改进

二维 Otsu 算法^[4-5]可以描述为: 若一幅 $M \times N$ 大小图像的灰度级为 L , 那么对应像素邻域平均灰度的灰度级也为 L , $f(x, y)$ 为图像在 (x, y) 点的灰度值, $g(x, y)$ 为以 (x, y) 为中心, $k \times k$ 邻域内的平均灰度值, 则 $g(x, y)$ 可以表示为

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

式中: $1 \leq x+m \leq M$, $1 \leq y+n \leq N$, M, N 分别表示图像的宽度和高度; k 一般取奇数(3 或 5)。

图像中的任一像素可以用点的灰度值和平均灰度值组成的二元组 (i, j) 来表示, 设 (i, j) 出现的频率为 $f_{i,j}$, 则联合概率密度 $p_{i,j}$ 为:

$$p_{i,j} = \frac{f_{i,j}}{M \times N}, \quad i, j = 0, 1, \dots, L-1, \quad \text{且} \quad \sum_i \sum_j p_{i,j} = 1 \quad (2)$$

$p_{i,j}$ 分布主要集中在 $(0, 0)$ 至 $(L-1, L-1)$ 对角线

收稿日期: 2012-03-05; 修回日期: 2012-04-06

作者简介: 张道建(1983—), 男, 河南人, 硕士研究生, 从事图像处理及 CAD 技术研究。

周围，令二维矢量 (s, t) 为阈值，可将图像的二维直方图分成如图 1 所示的 1, 2, 3, 4 个区域，区域 1 和 2 分别代表目标和背景，区域 3 和 4 代表边缘和噪声。从二维分割的原理可以看出，该算法考虑了图像的空间信息，可以减少噪声污染。

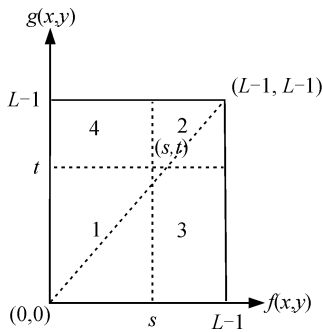


图 1 二维 Otsu 直方图区域划分

在该算法中，目标和背景出现的总概率分别为

$$p(C_0) = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t p_{i,j}, \quad p(C_1) = \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} p_{i,j} \quad (3)$$

对应的均值矢量为：

$$\boldsymbol{\mu}_0 = (\mu_{0i}, \mu_{0j})^T = \left[\frac{\sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t i p_{i,j}}{\omega_0(s,t)}, \frac{\sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t j p_{i,j}}{\omega_0(s,t)} \right]^T \quad (4)$$

$$\boldsymbol{\mu}_1 = (\mu_{1i}, \mu_{1j})^T = \left[\frac{\sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} i p_{i,j}}{\omega_1(s,t)}, \frac{\sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} j p_{i,j}}{\omega_1(s,t)} \right]^T \quad (5)$$

总体均值的表达式为：

$$\boldsymbol{\mu}_b = (\mu_{bi}, \mu_{bj})^T = \left[\frac{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} i p_{i,j}}{\omega_0(s,t)}, \frac{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} j p_{i,j}}{\omega_0(s,t)} \right]^T \quad (6)$$

在此定义离散度矩阵为：

$$\boldsymbol{\sigma}_B = \omega_0 [(\mu_0 - \mu_b)(\mu_0 - \mu_b)^T] + \omega_1 [(\mu_1 - \mu_b)(\mu_1 - \mu_b)^T] \quad (7)$$

则矩阵 $\boldsymbol{\sigma}_B$ 的迹 $t\boldsymbol{\sigma}_B$ 就是目标和背景之间的距离测度函数：

$$t\boldsymbol{\sigma}_B(s,t) = \omega_0 [(\mu_{0i} - \mu_{bi})^2 + (\mu_{0j} - \mu_{bj})^2] + \omega_1 [(\mu_{1i} - \mu_{bi})^2 + (\mu_{1j} - \mu_{bj})^2] \quad (8)$$

那么 $t\boldsymbol{\sigma}_B(s,t)$ 最大时所取得的分割阈值即为最优的阈值 (s', t') ，即

$$t\boldsymbol{\sigma}_B(s', t') = \max \{ t\boldsymbol{\sigma}_B(s, t) \}, \quad 0 \leq s, t \leq L-1 \quad (9)$$

上述经典算法是通过离散度矩阵的迹来反映背景和目标之间的离散度，计算复杂度高，而且没有

考虑其自身像素的分类信息即类内的内聚性。文献 [6] 设计了一种新的阈值识别函数来代替经典算法中离散测度，将绝对值差和平均离差等决定离散程度的重要统计量引入到阈值判别函数中，两者的统计过程都是以计算绝对值为基础。其具体实现过程为：先统计图像目标与背景各自的绝对差之和，再统计两者之间的总体平均离差，然后将绝对差之和与类间总体离差的比值作为阈值识别函数，此方法同时降低了计算的复杂程度。笔者按照其方法，由式 (4)、(5) 得背景和目标的类内绝对平均差为：

$$d_0(s,t) = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t \frac{p_{ij}}{\omega_0(s,t)} |i - \mu_{01}| + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t \frac{p_{ij}}{\omega_0(s,t)} |j - \mu_{02}| \quad (10)$$

$$d_1(s,t) = \sum_{i=s+1}^L \sum_{j=t+1}^L \frac{p_{ij}}{\omega_1(s,t)} |i - \mu_{11}| + \sum_{i=s+1}^L \sum_{j=t+1}^L \frac{p_{ij}}{\omega_1(s,t)} |j - \mu_{12}| \quad (11)$$

那么目标和背景总体的类内绝对差之和为：

$$s_\omega(s,t) = \omega_0(s,t)d_0(s,t) + \omega_1(s,t)d_1(s,t) \quad (12)$$

显然，上式表现为类内的内聚性，当 $s_\omega(s,t)$ 的值取得最小值时，分割效果最好。其 (s, t) 也就是最佳的分割阈值。

根据式 (6) 给出的总体均值向量，目标和背景类间的平均离差为：

$$s_B(s,t) = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t \omega_0 (|i - \mu_{b1}| + |j - \mu_{b1}|) + \sum_{i=s+1}^L \sum_{j=t+1}^L \omega_1 (|i - \mu_{b2}| + |j - \mu_{b2}|) \quad (13)$$

上式取得最大值时，就表示两类之间的差异也就越大，即目标和背景最易区分。

综合式 (12)、(13)，设定 $\phi(s,t)$ 来作为阈值判别向量：

$$\phi(s,t) = \frac{s_\omega(s,t)}{s_B(s,t)} \quad (14)$$

式 (14) 中：分子反映类内的内聚性；分母反映类间的离散度。因此，当 $\phi(s,t)$ 取最小值时，既保证了目标和背景的最大化离散度，又能使得目标和背景的内聚性最好。

上述算法的计算复杂度为 $O(L^4)$ ，运算量相当大。考虑到实际扫描得到的引信断层图像目标与背景灰度差异不明显，从而描述像素灰度和邻域灰度均值 2 个分量的阈值应该比较接近，笔者假设

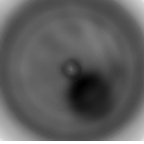








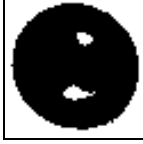
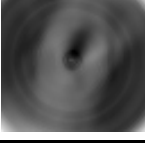




$s \equiv t$ ，则阈值判别向量就从二维变成了一维：

$$\phi(t) = \frac{s_{\omega}(t)}{s_B(t)} \quad (15)$$

这就大大减少了计算量。有了阈值向量，就可以实现对引信断层图像的二值化分割，分类函数为

$$f(i, j) = \begin{cases} 0, & f(i, j) < t \text{ 且 } g(i, j) < t \\ 1, & \text{其他} \end{cases} \quad (16)$$

表 1 实验结果

引信类型	原始重建图	大津法及分割的阈值	固定阈值 95	文献[7]的算法	文中算法
榴-5		 123		 110	 $s, t = 115$
榴-2		 93		 96	 $s, t = 98$
时-5		 104		 90	 $s, t = 84$

从结果看，由于引信断面重建图像的灰度相对集中，目标与背景的灰度相差不是很明显，大津法在计算阈值时无法将实际的目标区从图像中提取出来，不适应分割这类图像^[8]。而固定阈值由于没有能力适应图像细节的变化，当选取的阈值与最优阈值相差较大时，分割的效果差，甚至无法正确提取目标区域。文献[7]提出一种基于灰度直方图的阈值分割方法，通过面积比值与灰度级概率的关系来求阈值，对榴-5引信的图像分割取得了一定的效果，但分割还不够精确。对时-5引信分割后(如表 1 所示)右上角仍有粘连，软件在下一步自动检测时经常误判为引信失效(即解除保险)。笔者提出的改进二维 Otsu 方法既保证了目标和背景的最大离散度，又能使目标和背景的内聚性最好，很好地解决了这个问题，分割效果要优于其他几种方法。

3 结论

基于自适应阈值的二维 Otsu 改进算法用绝对差之和与类间总体离差的商作为新的阈值识别函数，能同时兼顾类内方差和类间方差。同时考虑到引信 CT 图像特点，将二维运算转变为一维运算，极大地

2 实验及结果分析

使用采集的引信断层重建图像(灰度级为 256，图像大小 64×64)，分别用一维 Otsu 分割、固定阈值分割、文献[7]基于直方图的分割以及笔者提出的改进算法进行实验，实验结果如表 1 所示。

降低了算法的复杂度。实际应用结果证明了该方法的可行性，并取得了较好的分割效果。

参考文献：

- [1] 邵立康, 言克斌. 弹药无损检测[M]. 北京: 海潮出版社, 2011: 281-284.
- [2] 许新征, 丁世飞, 矢忠植, 等. 图像分割的新理论和新方法[J]. 电子学报, 2010, 38(2A): 76-80.
- [3] 陈宁宁. 几种图像阈值分割算法的实现和比较[J]. 电脑知识与技术, 2011, 7(13): 3109-3111.
- [4] 马胜前, 张光南, 杨金龙, 等. 基于二维直方图的 Otsu 图像分割算法改进[J]. 西北师范大学学报, 2009, 45(1): 57-61.
- [5] 李宏, 张东升, 林义刚, 等. 基于 Otsu 理论的灰度图像分割算法研究和改进[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(22): 5437-5440.
- [6] 汪荣贵, 吴昊, 方帅, 等. 一种新的自适应二维 Otsu 图像分割算法研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2010, 40(8): 841-847.
- [7] 邵立康, 邹飞平, 迟权德, 等. 一种基于直方图的阈值分割算法[J]. CT 理论与应用研究, 2009, 18(2): 21-24.
- [8] 罗朝东, 于今, 王世耕, 等. 一种对 ICT 复杂图像进行二值化处理的方法[J]. 制造技术与机床, 2006(9): 54-56.