

三维直方图重建和降维的 Otsu 阈值分割算法

申铨京,龙建武,陈海鹏,魏 巍

(吉林大学计算机科学与技术学院,吉林长春 130012)

(吉林大学符号计算与知识工程教育部重点实验室,吉林长春 130012)

摘 要: 针对三维 Otsu 阈值分割算法中因区域误分而产生的抗噪性差这一问题,提出了一种三维直方图重建和降维的 Otsu 阈值分割算法.该方法首先在详细分析三维直方图中噪声点分布的基础上,通过重建三维直方图,减弱了噪声干扰;然后将三维直方图区域划分由八分法改为二分法,使得阈值搜索的空间维度从三维降低到一维,减少了处理时间和存储空间.本文最后给出了算法的分割结果和运行时间,并与三维 Otsu 方法、二维分解法和二维斜分法进行对比.实验结果表明,本文算法的抗噪性更强,且分割效果更为理想,同时时间复杂度也远低于三维 Otsu 法.

关键词: 图像分割; 阈值选取; Otsu 算法; 三维 Otsu 算法

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 05-1108-07

Otsu Thresholding Algorithm Based on Rebuilding and Dimension Reduction of the 3-Dimensional Histogram

SHEN Xuan-jing, LONG Jian-wu, CHEN Hai-peng, WEI Wei

(College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China)

(Key Laboratory of Symbolic Computation and Knowledge Engineering of Ministry of Education, Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China)

Abstract: In this work, a novel Otsu thresholding algorithm based on rebuilding and dimension reduction of the three-dimensional(3-D) was proposed with the consideration of the poor anti-noise performance in 3-D Otsu's method due to the obviously wrong region division. Firstly, our method rebuilt the 3-D histogram based on the distribution of noise points, which reduced the noise interference. And then, we transfer the region division in 3-D histogram from eight partitions into two partitions, thus reducing the search space of threshold from 3-dimension to 1-dimension, which saved a lot of processing time and memory space. Finally, segmentation result and running time were given at the end of this paper. In addition, comparisons with those of 3-D Otsu's method, 2-D decomposing approach and 2-D oblique algorithm were given as well. The results show that the presented method has better anti-noise performance and visual quality compared with the above three approaches, and lower time complexity compared with 3-D Otsu's method.

Key words: image segmentation; threshold selection; Otsu algorithm; 3-D Otsu's algorithm

1 引言

图像分割技术在计算机视觉、模式识别、医学图像处理等领域应用十分广泛,其主要目的是将感兴趣的目标从复杂背景中提取出来.然而,在众多的阈值分割算法^[1]中,Otsu 法^[2]因计算简单、实时性高、鲁棒性强等优点而被广泛使用^[3-5].为进一步加快 Otsu 分割算法的处理速度,Chung 等人^[6]提出了一种基于堆和量子化的加速算法,它能获取与 Otsu 准则相同的分割阈值.Huang 等人^[7]对 Otsu 法进行了多级扩展,提出了一种快速多级阈值分割算法.许向阳等人^[8]还对 Otsu 准则的阈值性质进行了详细分析,证明了用 Otsu 法找出的最

佳阈值是用该阈值分割出的两类均值的平均值,并通过两类的分布即可限定理想阈值的搜索范围.通常,Otsu 法均被作为全局方法使用,尤其当待分割图像呈双峰分布时,分割效果最佳.然而受光照不均等因素的影响,一般待分割图片并不呈明显的双峰分布状态,若仍采用全局分割方法必将导致分割失败.相比之下,基于分块思想的方法取得了比较理想的分割效果.但在部分图像块中,有些块可能全部属于背景区域,而有些块可能又全部为目标区域,即均呈单峰分布.如此一来,就不能简单的直接利用 Otsu 法进行分割,而需要对其进行特殊处理.为此,Chou 等人^[3]提出了一种基于区域的分割算法,其思想是通过学习的方式建立分割决策规则,来决

定选取下列某种操作:将该区域设为背景;将该区域设为目标;采用 Otsu 法对该区域进行分割;选用其邻近区域中最小的 Otsu 阈值对其进行分割。

上述所有 Otsu 方法都只使用灰度信息,而未考虑空间邻域信息,抗噪性较弱.为了提高其分割准确度和抗噪性能,有研究对 Otsu 准则分别进行了二维和三维推广^[9],随后又提出了相应推广方法的快速递推及改进算法^[10~12].其中三维方法因充分考虑了图像灰度、邻域均值和中值信息,从而取得了更为理想的分割效果.但由范九伦等人^[12]提出的三维快速递推算算法因存在区域误分使其抗噪性较弱,加之处理时间过长,致使该三维算法鲁棒性仍较弱.

针对 Otsu 方法抗噪声弱的问题,本文提出了一种改进的 Otsu 阈值分割算法.本算法首先指出并纠正了三维方法存在的区域误分;通过重建三维直方图,来减弱噪声干扰;通过降维,来降低时间复杂度.由此,可将本算法与文献[3]中提出的局部自适应分割算法相结合,形成一种鲁棒性更强的自适应 Otsu 阈值分割算法.另外,还可将本文提出的解决方案应用到其他全局阈值方法^[11]中,如基于信息熵理论的分割算法等.通过大量实验表明,相对于二维斜分法^[10]、二维分解法^[11]和三维 Otsu 法^[12]而言,本文算法抗噪性更强且分割效果更为理想,同时时间复杂度也远低于三维 Otsu 法.

2 Otsu 阈值分割算法

2.1 一维 Otsu 阈值分割算法

在灰度级为 L 的灰度图像中,灰度值为 i 的像素个数用 n_i 表示,总的像素个数用 n 表示; p_i 表示灰度图像中灰度值 i 出现的概率,则 $p_i = n_i/n$.将图像中的像素按灰度值用阈值 t 分成两类 C_0 和 C_1 ,即 $C_0 = \{0, 1, \dots, t\}$, $C_1 = \{t+1, t+2, \dots, L-1\}$.

则这两类像素出现的概率分别为:

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^t p_i = \omega(t) \tag{1}$$

$$\omega_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - \omega(t) \tag{2}$$

这两类像素的均值分别为:

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^t i \frac{p_i}{\omega_0} = \frac{\mu(t)}{\omega(t)} \tag{3}$$

$$\mu_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} i \frac{p_i}{\omega_1} = \frac{\mu_T - \mu(t)}{1 - \omega(t)} \tag{4}$$

其中, $\mu(t) = \sum_{i=0}^t ip_i$, $\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i$

Otsu 在文献[2]中指出最大类间方差准则与最小类内方差准则是等价的,又因最大类间方差的计算更为简单,从而选取前者作为阈值选取准则.设 σ_B^2 表示两类的类间方差,则有:

$$\begin{aligned} \sigma_B^2 &= \omega_0(\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 \\ &= \omega_0\omega_1(\mu_0 - \mu_1)^2 = \frac{[u(t) - u_T\omega(t)]^2}{\omega(t)[1 - \omega(t)]} \end{aligned} \tag{5}$$

最佳阈值 t^* 使用下式来获取:

$$t^* = \text{Arg}(\max_{0 \leq t \leq L-1} \{\sigma_B^2(t)\}) \tag{6}$$

2.2 三维 Otsu 阈值分割算法

文献[9]中提出的三维 Otsu 阈值分割算法是在以灰度图像、均值图像和中值图像构成的三维直方图模型下进行的.如图 1(a)所示,该三维直方图定义在一个 $L \times L \times L$ 的立方体区域内,其三个坐标轴分别表示图像像素的灰度值 $f(x, y)$ 、均值 $g(x, y)$ 和中值 $h(x, y)$.因同一像素点处的灰度值、均值和中值十分接近,所以在三维直方图中三元组 $(f_{x,y}, g_{x,y}, h_{x,y})$ 沿着体对角线 OM 方向一狭长的空间区域内分布.

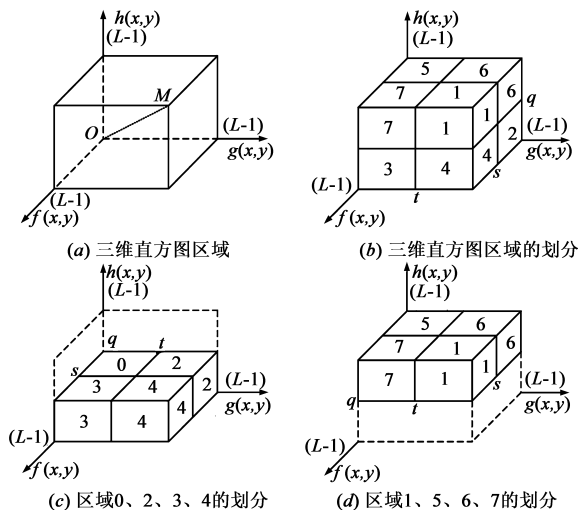


图1 三维直方图模型

文献[12]中提出的三维 Otsu 快速递推算算法,即:若 (s, t, q) 为被选取的阈值点,则三维直方图被分成如图 1(b)所示的 8 个小立方体区域.假设图片由暗背景和亮目标组成,因灰度值、均值和中值十分接近,背景将分布在 0 区域,目标将分布在 1 区域,边缘和噪声将分布在 2-7 区域.又因边界区域内的像素点远远少于背景和区域 2-7 区域,所以可假设区域 2-7 内的所有像素点的概率和为零.然后通过最大类间方差准则获取最佳阈值点 (s^*, t^*, q^*) ,令 $th = s^* + t^* + q^*$,最后利用下式便可获得二值图像 $bin(x, y)$:

$$bin(x, y) = \begin{cases} 0, & f_{x,y} + g_{x,y} + h_{x,y} < th \\ 255, & f_{x,y} + g_{x,y} + h_{x,y} \geq th \end{cases} \tag{7}$$

3 三维直方图重建和降维的 Otsu 阈值分割算法

3.1 三维分割方法存在的错分与不足

定义 1 在三维直方图中,将与体对角线垂直的并

将三维立方体区域分成了背景和目标两个区域的一系列平面,定义为三维直方图的分割平面。

定义 2 经过最佳阈值点的分割平面,定义为三维直方图的阈值平面。

从式(7)可知:三维 Otsu 阈值分割准则实质是在三维直方图中找一阈值平面 l^* ,其中,阈值点 $T(s^*, t^*, q^*)$ 在 l^* 上,如图 2 所示. 阈值平面 l^* 用方程可表示为: $f(x, y) + g(x, y) + h(x, y) = s^* + t^* + q^*$.因此,原三维直方图可转换为由一系列分割平面组成的一维直方图。

三维方法分割过程中存在着明显如下错分与不足:

(1)对区域 2-7 的忽略不计与实际不符. 因绝大部分边缘像素点和噪声点分布在远离对角线的那些区域里,所以对 2-7 区域的忽略不计直接导致其内的大量边缘信息丢失,尽管其内像素点数远远少于背景和目标区域内的像素点数,但仍会影响对图像的分割准确度。

(2)对噪声的处理不统一,抗噪性能弱. 虽然已经忽略了区域 2-7 内的噪声,但区域 0 和区域 1 中可能存在着大量噪声,三维方法并没有对其进行处理。

尤其当图片受噪声干扰后,噪声点的分布随机性较大,导致图像中处于目标区域内的噪声点却分布在了三维直方图中的背景区域内(如图 2 中以阈值平面为界并靠近原点的一侧),而处于背景区域内的噪声点则分布在了三维直方图中的目标区域内(如图 2 中以阈值平面为界并远离原点的一侧),这种分布的随机性随着干扰程度的增强而加大,直接造成三维直方图的分布与正常分布之间存在较大偏差,影响其后续处理。

另外,在获取最佳阈值后,二值化图像时是对整个区域(包括 2-7 区域)进行分割,由于噪声分布的随机性,致使二值化后的图像中出现了大量的“黑点”或“白点”现象. 也就是说,在以阈值平面为界并远离原点一侧区域内分布的一些噪声点,本应属于背景区域,二值化时却被误认为目标点,导致在黑色背景区域中形成“白点”;同样,在以阈值平面为界并靠近原点一侧区域内分布的一些噪声点,本应属于目标区域,二值化时却被误认为背景点,导致在白色目标区域中形成“黑点”。

由此看来,虽然三维 Otsu 法综合考虑了空间邻域均值和中值信息,但并没有从根本上达到去噪目的,所以有必要对三维空间中的一些信息点进行矫正,即重建三维直方图,使其分布恢复到正常状态,以减弱噪声影响。

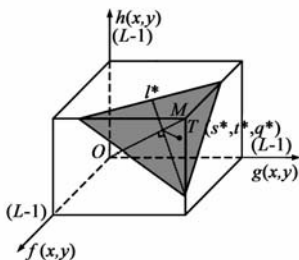


图2 阈值点及阈值平面分布图

(3)时间和空间复杂度较大. 由于该方法维数较高,使得计算时间较长(时间复杂度为 $O(L^3)$),无法满足实时性要求,加之其所需存储空间较大,在实际项目中很难得到应用,对其进行降维势在必行。

3.2 解决方案

通过上述分析,本文提出了如下解决方案:

(1)重建三维直方图:对三维直方图中每个点 (f, g, h) 的分布位置进行矫正,使其重新分布到正确的区域内,达到去噪目的,以使空间区域中的所有点尽可能严格沿着体对角线 OM 方向分布。

(2)三维直方图降维:不再将三维立体空间分为 8 个立方体区域即只考虑其中部分区域,而是采用分割平面将其分为如图 2 所示的两个区域. 这样不仅可以充分考虑到空间中的每一个信息点,而且可由寻找三维最佳阈值到本文方法只寻找一维最佳阈值(阈值平面),即从三维降低到一维,使得维数大为降低,减少了运算时间和存储空间。

3.2.1 三维直方图重建

噪声点及其附近像素点和边缘像素点往往都分布在远离对角线的那些区域内,下面首先对这些点的分布情况作详细分析,然后按照定义 3 重建三维直方图,图 3 为三维直方图的 8 角区域分布图。

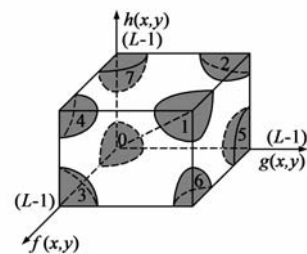


图3 三维直方图八角区域分布图

定义 3 设某一像素点 (x, y) 处的像素值三元组为 (p_1, p_2, p_3) ,若 p_i, p_j, p_k 满足: $|p_k - p_i| > |p_j - p_i|$ 且 $|p_k - p_j| > |p_j - p_i|$,其中 $1 \leq i, j, k \leq 3$ 且 $i \neq j \neq k$,则 p_i, p_j, p_k 三者间关系记为 $\langle Close(p_i, p_j), p_k \rangle$ 。

下面是对各区域的详细分析:

(1)区域 0:灰度值、均值和中值均较小,且三者十分接近,为背景区域。

(2)区域 1:灰度值、均值和中值均较大,且三者十分接近,为目标区域。

(3)区域 2:灰度值较小,均值和中值较大且接近,即有 $\langle Close(g, h), f \rangle$. 该点是亮区中的暗点,为目标区域中的噪声点,灰度值需矫正。

(4)区域 3:灰度值较大,均值和中值较小且接近,即有 $\langle Close(g, h), f \rangle$. 该点是暗区中的亮点,为背景区域中的噪声点,灰度值要矫正。

(5)区域 4:均值较小,灰度值和中值较大且接近,即有 $\langle Close(f, h), g \rangle$. 该点是目标区域中的像素点,其本身不为噪声点,而是其附近有较暗的噪声点,均值需矫正。

(6)区域 5: 均值较大, 灰度值和中值较小且接近, 即有 $\langle Close(f, h), g \rangle$. 该点是背景区域中的像素点, 其本身不为噪声点, 而是其附近有较亮的噪声点, 均值需矫正.

(7)区域 6: 中值较小, 灰度值和均值较大且接近, 即有 $\langle Close(f, g), h \rangle$. 该点是靠近背景区域部分的边缘像素点, 其附近有很亮的噪声点, 且像素值较大的像素点数要少于像素值较小的, 所以该点更偏向背景区域, 灰度值和均值需矫正.

(8)区域 7: 中值较大, 灰度值和均值较小且接近, 即有 $\langle Close(f, g), h \rangle$. 该点是靠近目标区域部分的边缘像素点, 其附近有很暗的噪声点, 且像素值较小的像素点数要少于像素值较大的, 所以该点更偏向目标区域, 灰度值和均值需矫正.

图 4 为三维空间中信息点的分布示意图, 其中图 4(a) 为矫正前分布状态, 从图可知, 噪声点及其附近像素点和边缘像素点分布比较分散, 因此需要对其矫正, 矫正后的分布状态如图 4(b) 所示.

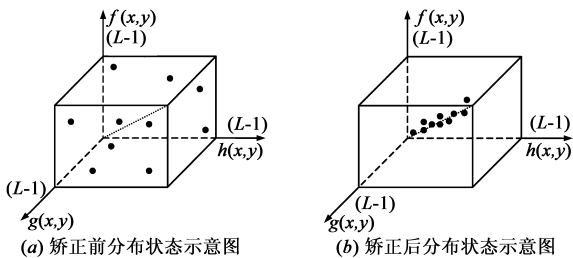


图4 信息点分布状态示意图

记初始三元组(灰度值, 均值, 中值)为 (f, g, h) , 矫正后的三元组为 (f^*, g^*, h^*) , 它们相互之间的距离为: $dis_{fg} = |f - g|$, $dis_{fh} = |f - h|$, $dis_{gh} = |g - h|$. 通过上述分析, 矫正方法如下:

(1)情况(1)和(2)为正常分布, 不需对其矫正.

(2)对于情况(3)和(4), 三者关系为 $\langle Close(g, h), f \rangle$, 用距离关系式表示为: $dis_{fg} > dis_{gh}$ 且 $dis_{fh} > dis_{gh}$, 灰度值可用均值和中值的均值来矫正, 即:

$$f^* = \frac{(g + h)}{2} \tag{8}$$

(3)对于情况(5)和(6), 三者关系为 $\langle Close(f, h), g \rangle$, 用距离关系式表示为: $dis_{fg} > dis_{fh}$ 且 $dis_{gh} > dis_{fh}$, 均值可用灰度值和中值的均值来矫正, 即:

$$g^* = \frac{(f + h)}{2} \tag{9}$$

(4)对于情况(7)和(8), 三者关系为 $\langle Close(f, g), h \rangle$, 用距离关系式表示为: $dis_{fh} > dis_{fg}$ 且 $dis_{gh} > dis_{fg}$, 灰度值和均值可用中值来矫正, 即:

$$f^* = g^* = h \tag{10}$$

(5)由情况(7)和(8)可知, 不需对中值矫正, 即:

$$h^* = h \tag{11}$$

对于正常分布的非噪声像素点可能也会满足上述其中某种情况, 但因其灰度值、均值和中值十分接近, 故使用上述矫正方程矫正后其分布基本不受影响.

3.2.2 三维直方图降维

重建三维直方图后, 像素点将更严格更紧密地沿着体对角线方向分布, 减弱了噪声干扰, 从而使处于同一分割平面上的点非常接近中心点(对角线与分割平面的交点), 如图 4(b) 所示. 又因这些点的分布比较集中, 可用原点到该分割平面的距离来度量处于同一分割平面上的点. 因此, 对于三维直方图中的任意一点 (f, g, h) , 该点的分布均可用原点到该点所在分割平面的距离 d 来度量, 其中 $d \in [0, \sqrt{3}L]$. 而对于每一分割平面, 可以用方程表示为: $f + g + h = C$, 其中 C 为常数. 由此可将三维 Otsu 分割算法从求三维最佳阈值 (s^*, t^*, q^*) 转化为本方法只需求一维最佳阈值 d^* .

具体转换方法可以通过遍历整个三维直方图, 分别对其中每个点进行转换. 将计算出的距离作为一个一维数组的索引, 与该索引对应的值取为该点 (f, g, h) 出现的频数. 更为简单的方法是直接使用灰度图像、均值图像及中值图像来进行计算, 不用提前建立三维直方图. 具体做法是:

首先建立一个与图像大小相同的二维数组 $dis(x, y)$, 这里仍将该二维数组看作一幅灰度图像, 其灰度级为 $\sqrt{3}L$.

然后从上到下从左到右将图像中的每个像素点 (x, y) 进行遍历, 并使用上述矫正方程对每个点的分布位置进行矫正, 即重建三维直方图.

最后利用像素点 (x, y) 的灰度值 f 、均值 g 和中值 h 计算出原点到其所在分割平面的距离 d , 此距离作为转换后图像中该点的灰度值, 即 $dis(x, y) = d$.

设矫正后的灰度值为 $f^*(x, y)$ 、均值为 $g^*(x, y)$ 、中值为 $h^*(x, y)$, 在三维直方图中该点表示为 (f^*, g^*, h^*) , 其分割平面用方程可表示为 $f + g + h = f^* + g^* + h^*$, 如图 5 所示. 其中 α 为体对角线 OM 与坐标轴 OA 的夹角 $\angle AOM$, N 为分割平面与体对角线的交点, 延展分割平面与 f 轴的交点为 B , 显然该延展平面与三坐标轴的截距均相等, 且有 $|OB| = f^* + g^* + h^*$.

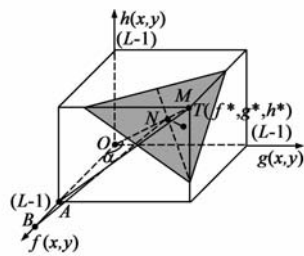


图5 信息点及分割平面分布图

在 $Rt\Delta OAM$ 中,

$$\cos\alpha = \frac{|OA|}{|OM|} = \frac{|OA|}{\sqrt{3}|OA|} = \frac{\sqrt{3}}{3} \quad (12)$$

在 $Rt\triangle ONB$ 中,

$$|ON| = |OB| \cos\alpha = \frac{\sqrt{3}}{3}(f^* + g^* + h^*) \quad (13)$$

所以,转换后图像中该点的灰度值为:

$$dis(x, y) = |ON| = \frac{\sqrt{3}}{3}(f^* + g^* + h^*) \quad (14)$$

所有像素点转换完后,得到的一维直方图如图 6 所示.为了进一步提高抗噪性,可再次对二维数组 $dis(x, y)$ 进行中值滤波,然后利用一维 Otsu 准则来获取最佳阈值 d^* ,最后采用下式便可得到最终二值图像 $bin(x, y)$:

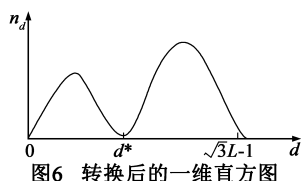


图6 转换后的一维直方图

$$bin(x, y) = \begin{cases} 0, & dis(x, y) \leq d^* \\ 255, & dis(x, y) > d^* \end{cases} \quad (15)$$

转化后灰度图像 $dis(x, y)$ 的数据范围从 $[0, L]$ 扩大到 $[0, \sqrt{3}L]$, 通过对其灰度拉伸提高对比度后,便能突出更多的图像细节信息,使其分割更为准确.此外,原三维算法的时间复杂度为 $O(L^3)$,由三维降到一维后,其时间复杂度为 $O(\sqrt{3}L) = O(L)$,节省了计算时间,同时所需存储空间也得到了相应减少.

4 实验结果及分析

仿真实验是在 AMD Athlon 7750 Dual-Core、CPU 2.70 GHz、2G 内存的机器上进行的,编程环境为 Microsoft Visual Studio 2008,编程语言为 C++ .为了验证本算法的有效性,本文对大量图片进行了测试,均获得了比较理想的实验效果.

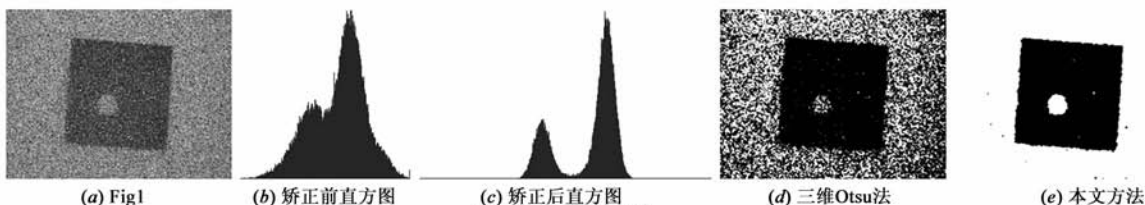


图7 Fig1实验结果

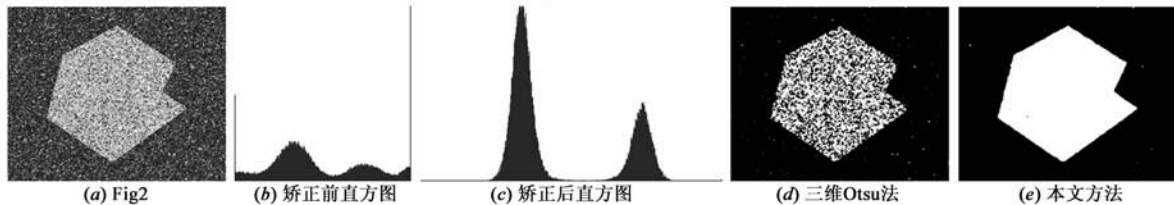


图8 Fig2实验结果

图 7 和图 8 分别为 288×216 大小的 Fig1 和 300×240 大小的 Fig2 两幅受噪声干扰的图像采用三维 Otsu 法和本文方法的对比实验结果.图中分别给出了相应矫正前一维灰度直方图(灰度级为 L)、矫正后一维灰度直方图(灰度级为 $\sqrt{3}L$)、三维 Otsu 法分割结果和本文方法分割结果,其中 $L = 256$.表 1 给出了 Fig1 和 Fig2 实验结果中各图分割阈值及运行时间.

表 1 两种分割算法的分割阈值及运行时间

测试图片	分割阈值	运行时间(ms)
Fig 1	$(s^*, t^*, q^*) = (139, 152, 198)$	3750
	$d^* (\frac{d^*}{\sqrt{3}}) = 235(136)$	16
Fig 2	$(s^*, t^*, q^*) = (146, 164, 231)$	3969
	$d^* (\frac{d^*}{\sqrt{3}}) = 236(136)$	31

从图 7 和图 8 可以看出,三维 Otsu 法的分割结果中明显含有大量噪声,导致分割结果严重失真.其主要原因:(1)三维直方图区域划分存在误分;(2)没有对噪声

点分布进行矫正.由于待分割图像受噪声干扰,其一维直方图的双峰被明显地单峰化或多峰化,导致其呈单峰或多峰分布状态,如矫正前直方图,若此时直接采用 Otsu 准则对其进行分割,必将导致分割失败.而采用本文方法得到的结果却有了很大的改善.因为本算法不仅充分考虑了三维空间中的每一个信息点,而且还通过重建三维直方图,减小了大量噪声干扰,使其直方图基本恢复到最初的双峰分布状态,如矫正后直方图,此时再采用 Otsu 准则进行分割,便可取得理想的分割效果.此外,由于维数降低,本算法很大程度上缩短了运行时间,实时性高,如表 1 所示.其中 $\frac{d^*}{\sqrt{3}}$ 为转换到灰度级 L 下对应分割阈值,便于与三维 Otsu 法的分割阈值进行比较.

图 9 和图 10 是采用二维斜分法^[10]、二维分解法^[11]、三维 Otsu^[12]法与本文算法的对比实验结果.其中 Fig3 为 862×400 大小的文本图像, Fig4 为 295×143 大小的含有椒盐噪声的化纤图像.从图 9 可以看出三维

Mainland Affairs
officials have con
Hong Kong about

(a) Fig3

Mainland Affairs Mainland Affairs
officials have con officials have con
Hong Kong about Hong Kong about

(b) 本文方法

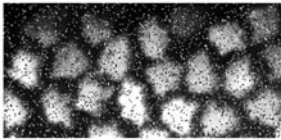
(c) 三维Otsu法

Mainland Affairs Mainland Affairs
officials have con officials have con
Hong Kong about Hong Kong about

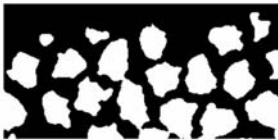
(d) 二维分解法

(e) 二维斜分法

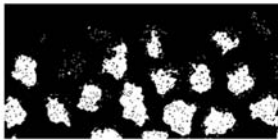
图9 Fig3实验结果



(a) Fig4



(b) 本文方法



(c) 三维Otsu法



(d) 二维分解法



(e) 二维斜分法

图10 Fig4实验结果

Otsu法和二维分解法的分割结果中含大量噪声,而二维斜分法的分割结果中虽含噪声很少,但分割出的文本明显变细,丢失了一部分文本信息.相比之下,本文方法分割效果显然更为优越.从图10可以看出三维Otsu法和二维分解法的分割结果中除了含有噪声外,还丢失了大量目标信息,分割结果严重失真.这两种方法的主要问题都是因为区域的误划分.二维斜分法分割结果虽然丢失目标信息很少,但因未考虑邻域中值信息而导致抗噪性弱.相比之下,本文方法的分割效果仍然是最佳的.

表2 图 Fig3 和 Fig4 实验结果中的分割阈值及运行时间

		本文 算法	三维 Otsu 法	二维 分解法	二维 斜分法
Fig 3	分割阈值	246	(151, 149, 144)	(145, 146)	253
	运行时间(ms)	125	4031	31	16
Fig 4	分割阈值	212	(120, 169, 246)	(122, 223)	254
	运行时间(ms)	16	4079	3	2

表2为图9和图10实验结果中的分割阈值及运行时间的对比.从表2中可以发现,对Fig4采用三维Otsu法得到的三个阈值(灰度阈值、均值阈值和中值阈值)相差较大,同样采用二维分解法得到的两个阈值(灰度阈值和均值阈值)仍然相差较大,从而致造成图10中的分割结果.另外,相对于二维分解法和二维斜分法而言,本文算法的运行时间虽然略长,但相对于三维Otsu法来说,其执行时间明显要短的多,实时性仍然较高.

5 结论

本文指出了三维Otsu阈值分割算法在三维直方图区域划分中存在的明显错分与不足,通过对其详细分析,提出了一种三维直方图重建和降维的Otsu阈值分割算法.本算法通过重建三维直方图,有效的降低了噪声干扰;同时充分考虑到三维直方图区域中的每一个信息点,提高了分割的准确度;再者,从原区域8分法改为新的区域2分法,从原寻找三维阈值降低到本算法只需获取一维阈值,相对于三维Otsu法而言,其时间复杂度有了很大的降低,减少了运行时间和存储空间.本文中本算法为全局分割算法,因其具有高实时性,可将本算法应用到局部区域,形成自适应Otsu阈值分割算法,以提高其分割性能.此外,本文提出的解决方案可应用到现有的其他全局阈值分割算法中,如基于信息熵理论的阈值分割算法.

当然,本文算法也存在一些不足,算法中仅采取较为简单的均值滤波和中值滤波,加上其去噪性能一般,对那些被噪声干扰较为严重的图片而言其分割效果仍不太理想.因此,寻找一种更为有效的去噪方法,有待进一步探讨与研究.

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): 146 - 168.
- [2] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9(1): 62 - 66.
- [3] Chien-Hsing Chou, Wen-Hsiung Lin, Fu Chang. A binarization method with learning-build rules for document images produced by cameras[J]. Pattern Recognition, 2010, 43(4): 1518 - 1530.
- [4] Farrahi Moghaddam R, Cheriet M. A multi-scale framework for adaptive binarization of degraded document images[J]. Pattern Recognition, 2010, 43(6): 2186 - 2198.
- [5] Wen-zhu Yang, Dao-liang Li, Liang Zhu, et al. A new approach for image processing in foreign fiber detection[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 68(1): 68 - 77.

- [6] Chung Kuo-liang, Tsai Chia-lun. Fast incremental algorithm for speeding up the computation of binarization[J]. Applied Mathematics and Computation, 2009, 212(2): 396 – 408.
- [7] Deng-Yuan Huang, Chia-Hung Wang. Optimal multi-level thresholding using a two-stage Otsu optimization approach [J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(3): 275 – 284.
- [8] 许向阳, 宋恩民, 金良海. Otsu 准则的阈值性质分析[J]. 电子学报, 2009, 37(12): 2716 – 2719.
Xu Xiang-yang, Song En-min, Jin Liang-hai. Characteristic analysis of threshold based on Otsu criterion[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(12): 2716 – 2719. (in Chinese)
- [9] 景晓军, 李剑锋, 刘郁林. 一种基于三维最大类间方差的图像分割算法[J]. 电子学报, 2003, 31(9): 1281 – 1285.
Jing Xiao-jun, Li Jian-feng, Liu Yu-lin. Image segmentation based on 3-D maximum between-cluster variance [J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(9): 1281 – 1285. (in Chinese)
- [10] 吴一全, 潘 ■, 吴文怡. 二维直方图区域斜分阈值分割及快速递推算法[J]. 通信学报, 2008, 29(4): 77 – 83.
Wu Yi-quan, Pan Zhe, Wu Wen-yi. Image thresholding based on two-dimensional histogram oblique segmentation and its fast recurring algorithm [J]. Journal on Communications, 2008, 29(4): 77 – 83. (in Chinese)
- [11] 岳峰, 左旺孟, 王宽全. 基于分解的灰度图像二维阈值选取算法[J]. 自动化学报, 2009, 35(7): 1022 – 1027.
Yue Feng, Zuo Wang-meng, Wang Kuan-quan. Decomposition based two-dimensional threshold algorithm for gray images [J]. Acta Automatica Sinica, 2009, 35(7): 1022 – 1027. (in Chinese)
- [12] 范九伦, 赵凤, 张雪峰. 三维 Otsu 阈值分割方法的递推算法[J]. 电子学报, 2007, 35(7): 1398 – 1402.

Fan Jiu-lun, Zhao Feng, Zhang Xue-feng. Recursive algorithm for three-dimensional Otsu's thresholding segmentation method [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(7): 1398 – 1402. (in Chinese)

作者简介



申铨京 男, 1958 年 12 月出生出生于吉林和龙. 1982 年、1984 年、1990 年在哈尔滨工业大学计算机科学与工程系分别获得学士、硕士和博士学位. 吉林大学计算机科学与技术学院教授、博士生导师. 主要研究方向为图像处理与模式识别、多媒体技术、智能测量系统、光电混合系统等.

E-mail: xjshen@jlu.edu.cn



龙建武 男, 1984 年 12 月出生出生于湖北恩施. 吉林大学计算机科学与技术学院硕士研究生. 主要研究方向为图像处理与模式识别.

E-mail: longjw08@mails.jlu.edu.cn



陈海鹏(通信作者) 男, 1978 年 6 月出生出生于山东曹县. 2000 年、2006 年在吉林大学分别获得学士和硕士学位. 吉林大学计算机科学与技术学院讲师, 在读博士研究生, 主要研究方向为图像处理与模式识别、多媒体信息安全.

E-mail: chenhp@jlu.edu.cn