

改进的强调波谷信息的阈值分割算法^①

林 敏

(莆田学院 信息工程学院, 莆田 351100)

摘 要: 针对强调波谷算法和强调波谷邻域算法, 都只考虑阈值所在波谷及其邻域的灰度值出现概率对分割结果的影响, 提出一种结合波谷的灰度值与其空间分布性的改进的 OTSU 算法, 并构造出一种新的标准差因子, 由此形成一个新的阈值分割目标公式. 经过仿真实验, 文章提出的算法能有效分割光照不均的图像, 有很强的实用性.

关键词: 强调波谷; 强调波谷邻域; OTSU; 阈值分割; 标准差

Improved Threshold Segmentation Algorithm on Valley-Emphasis Information

LIN Min

(Electronics and Engineering College, Putian University, Putian 351100, China)

Abstract: The valley-emphasis method and the neighborhood valley-emphasis method all consider the gray threshold, where the valley and the neighborhood values affect the probability of segmentation results. This paper proposes an improved Otsu algorithm, which combines valley gray value and spatial distribution of the image, and constructs a new standard deviation factor, thus forms a new threshold segmentation of the target formula. Through the simulation experiment, the proposed algorithm can effectively segment the images, which has a very strong practicability.

Key words: valley-emphasis; neighborhood valley-emphasis; otsu; threshold segmentation; standard deviation

1 引言

图像分割是数字图像处理技术中的一项关键技术, 是根据图像本身固有的灰度分布、纹理、梯度等信息, 把图像分成若干个具有独特特征结构的区域, 是后续图像分析理解和目标识别的基础. 图像分割已经取得广泛的应用, 涉及的领域涵盖医学、军事、科技研究、工业应用等多方面. 例如, 对医学核磁共振图像的分割、卫星定位图像的目标分割、工业制造上的零部件定位与检测、车牌文字的分割识别等, 凡是涉及到图像的特征提取、目标识别、测量等应用都要用到图像分割技术. 近年来, 研究人员不断改进传统算法并结合新的理论知识, 提出了不少行之有效的分割方法.

在众多的图像分割算法中, 阈值分割以其简单易行, 实时性良好等特点得到了广泛的研究和应用. 根据阈值的作用范围可以分为: 全局阈值法和局部阈值

法. 其中, OTSU^[1]算法是典型的全局阈值方法, 该方法实现非常简单, 运算速度也较快. 该算法是在图像一维灰度直方图中, 以背景和目标两类的类间方差最大化原则或两类的类内方差最小化原则来筛选最佳阈值. 因此, OTSU 算法所获得的最佳阈值等于, 以该阈值分割出的背景和目标两类的均值的平均值. 文献[2]用数学理论证明了, OTSU 方法适合于分割背景和目标比例相近的图像, 即直方图呈双峰分布或近似双峰分布的图像, 而对于直方图呈其他分布的图像, 分割效果不佳. 针对这种问题, Ng, 胡斌^[3], Fan, 申铨京^[4]等许多学者提出了相应的改进算法.

Ng 提出了一种改进的 OTSU 阈值选择方法——强调波谷的阈值选择方法^[5], 将阈值在图像灰度直方图中出现的概率, 经过运算, 作为权重合并到 OTSU 公式中, 可以确保选取的阈值位于灰度直方图的波谷

^① 基金项目:莆田学院校内基金(2013009)

收稿时间:2015-12-16;收到修改稿时间:2016-01-21 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005287]

或趋向于底部边缘,对灰度直方图呈单峰或近似单峰分布的图像能获得满意的分割效果. Jiu-Lun Fan 等人在 Ng 的研究基础上,不仅考虑了阈值出现的概率,同时也考虑了该阈值一定邻域内的灰度分布情况,提出了强调波谷邻域算法^[6],可以取得比 OTSU 和强调波谷更好的分割结果.

无论是强调波谷算法还是强调波谷邻域算法,都只考虑了图像灰度直方图中,阈值所处波谷与其邻域的像素灰度值,在图像中出现的频率对分割效果的影响,并没有考虑阈值与其邻域的空间分布等相关信息,本文算法在强调波谷信息的基础上,加入了与直方图中波谷有关的标准差因子,使得在背景和目标相交的区域,更加注重细节部分的分割处理,对光照不均的图像分割效果更佳.

2 相关研究

2.1 OTSU 算法

假设一幅图像的灰度级为 $[0,1,2,\dots,L-1]$, 图像中灰度级为 i 的像素个数为 n_i , 则图像总像素数为

$$N = \sum_{i=0}^{L-1} n_i, \text{ 各灰度级的概率为 } p_i = \frac{n_i}{N}. \text{ 假设阈值 } t \text{ 将}$$

图像分成两类: $C_0 = [0,1,2,\dots,t-1]$, $C_1 = [t,t+1,\dots,L-1]$. 则 C_0 和 C_1 出现的概率分别为

$$w_0 = \sum_{i=0}^{t-1} p_i \text{ 和 } w_1 = \sum_{i=t}^{L-1} p_i, \text{ 相应的灰度均值为}$$

$$u_0 = \frac{\sum_{i=0}^{t-1} i \times n_i}{\sum_{i=0}^{t-1} n_i} \text{ 和 } u_1 = \frac{\sum_{i=t}^{L-1} i \times n_i}{\sum_{i=t}^{L-1} n_i}, \text{ 整幅图像的灰度平均}$$

值为 $u = w_0 u_0 + w_1 u_1$, 将图像的最大类间方差(OTSU)公式定义为:

$$\sigma^2(t) = w_0(u_0 - u)^2 + w_1(u_1 - u)^2 \quad (1)$$

根据式(1)求得最大 $\sigma^2(t)$ 值时的 t 值即为分割阈值.

该算法对灰度直方图呈双峰或近似双峰分布的图像,分割效果比较理想.而对于灰度直方图呈单峰或近似单峰分布,或者背景和目標两类类间方差区别较大的图像,OTSU 阈值将偏向方差大的一类,使得背景和目标的类内方差变小,或者类间方差变大,导致图像分割效果不佳.

2.2 强调波谷算法

针对 OTSU 算法对直方图呈单峰或近似单峰分布的图像,分割效果不佳的情况,Ng 提出了强调波谷的改进算法,认为图像分割的最优阈值应该等于,图像灰度直方图中处于波谷点的众多像素值中的一个,所以把处在波谷点的像素灰度值的出现频率 $h(l)$ 作为权重合并到原始的 OTSU 目标公式中,改进后的公式为:

$$\sigma^2(t) = (1 - h(l))[w_0(u_0 - u)^2 + w_1(u_1 - u)^2] \quad (2)$$

$h(l)$ 值越低,权重 $(1 - h(l))$ 就越大.这个权重保证了所选取的阈值为图像灰度直方图中波谷或趋近于底部边缘的像素值.改进后的算法,对灰度直方图呈单峰或近似单峰分布的图像可以取得较满意的分割效果.但由于只在目标函数中加入阈值出现的概率,使得在背景和目標方差区别较大的情况下,分割效果不理想.

2.3 强调波谷邻域算法

Jiu-Lun Fan 等人在强调波谷算法的基础上,同时考虑了波谷邻域的像素灰度值的出现频率,对权重的贡献,增强了目标公式中权重部分对类间方差的影响程度,使得在背景和目標方差区别较大的情况下,对图像阈值的定位更加准确.改进后的公式为:

$$\sigma^2(t) = (1 - \bar{h}(t))[w_0(u_0 - u)^2 + w_1(u_1 - u)^2] \quad (3)$$

其中 $\bar{h}(t)$ 定义如下:

$$\bar{h}(t) = [h(t - m) + \dots + h(t - 1) + h(t) + h(t + 1) + \dots + h(t + m)] \quad (4)$$

表示为灰度值 t 及其左右大小为 $2m + 1$ 邻域内的所有灰度值出现频率的和.

改进后的算法,虽然比 Ng 算法能获得更好的分割效果,但在选取阈值的时候,并没有考虑分割目标与整幅图像的空间分布情况,特别对背景和目標交错比较频繁的区域,分割效果不理想.

3 本文算法

3.1 本文算法的提出

由 Ng 算法、Jiu-Lun Fan 算法的阈值计算公式(2)、(3)可知,这两种算法都只考虑了图像灰度直方图中,阈值所处波谷点或底部边缘的像素灰度值,在图像中出现的频率对分割效果的影响,并没有考虑阈值与其邻域甚至整幅图像的空间分布情况.

而局部阈值算法中,由于只针对一个局部窗口内的图像设定阈值,比较注重局部图像的细节问题,所以一般使用局部均值和标准差来计算阈值.由于计算均

值和标准差需要花大量的时间, 学者 T.Romen.Singh^[7] 提出一种简易的标准差计算公式, 其算法思想为: 在图像 $i(x, y)$ 上选取大小为 w 的窗口, 然后计算局部均值 $m(x, y)$ 和标准偏差 $\delta(x, y)$, 其中

$$\delta(x, y) = i(x, y) - m(x, y) \quad (5)$$

得到局部阈值计算公式:

$$T(x, y) = m(x, y)(1 + k(\frac{\delta(x, y)}{1 - \delta(x, y)} - 1)) \quad (6)$$

利用此阈值公式, 对灰度不均匀的图像进行分割的同时, 即保留了图像中的细节, 也能对灰度变化较大的地方进行有效分割。

受此启发, 考虑到 OTSU 算法是全局阈值分割算法, 所以本文把 w 窗口扩大到整幅图像, 也在最终的阈值分割公式中引入一个标准差因子. 通过对直方图分布呈近似单峰分布和近似多峰分布的图像的实验对比, 能实现对图像进行有效分割的同时也保留图像的细节, 即标准差因子可以体现图像的空间相关性。

本文在传统的 OTSU 阈值公式中引入如下一个标准差因子:

$$\delta(t) = |I(t) - u| \quad (7)$$

其中 $I(t)$ 为阈值所取的灰度值, 即为图像直方图中的某一个波谷灰度值, u 为整幅图像的均值. 由此构成的目标公式为:

$$\sigma^2(t) = (1 - \frac{\delta(t)}{1 - \delta(t)})[w_0(u_0 - u)^2 + w_1(u_1 - u)^2] \quad (8)$$

通过实验发现, 该阈值公式体现了图像的空间性, 特别是在背景和背景相交的区域, 能成功消除背景中较亮的区域, 即为前景目标的区域, 或者目标中较暗的区域, 即为背景的区域, 更加注重细节部分的分割处理, 对光照不均的图像具有良好的分割效果。

通过实验发现, 该阈值公式体现了图像的空间性, 特别是在背景和背景相交的区域, 能成功消除背景中较亮的区域, 即为前景目标的区域, 或者目标中较暗的区域, 即为背景的区域, 更加注重细节部分的分割处理, 对光照不均的图像具有良好的分割效果。

3.2 本文算法的实验分析

为了验证本文算法的特点和优势, 将本文算法和 OTSU 算法、Jiu-Lun Fan 算法进行对比实验. 选用硬币、月亮、人物等图像, 相应的直方图如下所示。

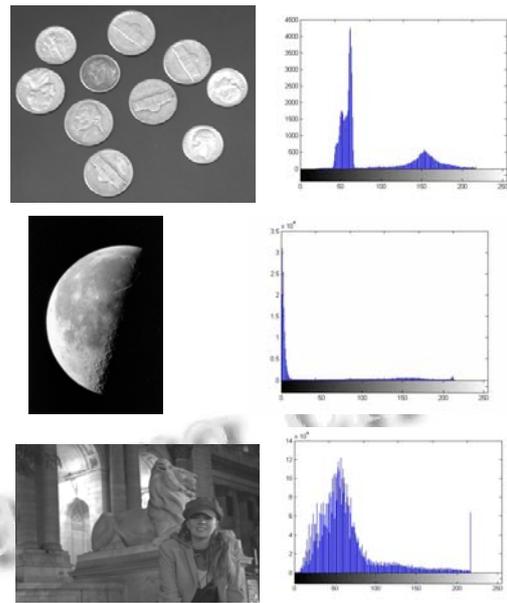


图 1 实验用图与直方图

相应的仿真实验结果, 如图 2、图 3、图 4 所示。

硬币图像, 直方图呈近似双峰分布, OTSU 算法和 Fan 算法, 把硬币范围内部分较暗的区域误分为背景区域, 而本文算法能根据目标的整体空间相关性, 对整体硬币做出较准确的定位. 月亮图像中, 在背景和背景交错部位, 光照不均, 灰度变化比较大, 利用 OTSU 算法和 Fan 算法分割出来的月亮图像, 有较明显的缺口, 而本文算法分割出来的月亮图像, 能有效抑制光照不均带来的影响, 得到较满意的分割效果. 人物图像, 直方图呈近似单峰分布, 在原图人物的四围地带具有较多细节, OTSU 算法和 Fan 算法对这些细节地带的划分比较笼统, 本文算法的分割效果有明显改善。

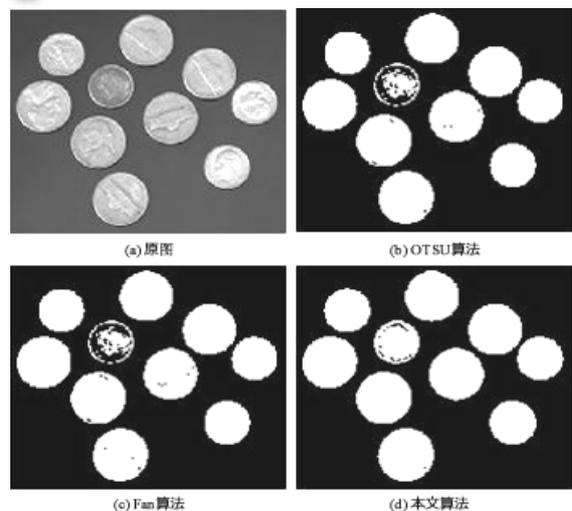


图 2 硬币图像

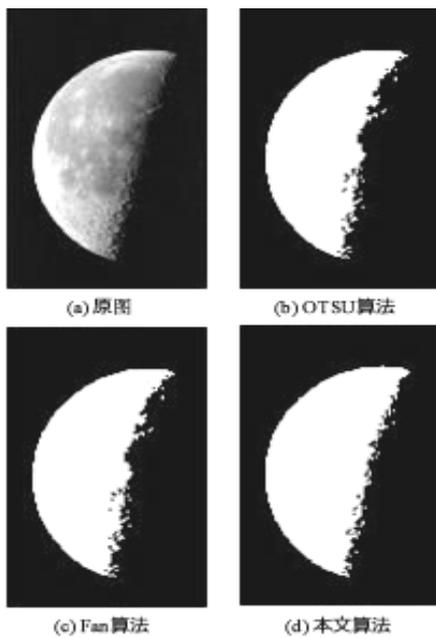


图 3 月亮图像

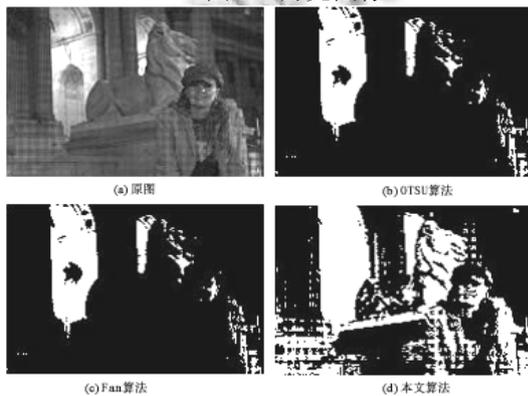


图 4 人物图像

3.3 分割质量评价

图像的分割算法成千上万，不同的算法对同一幅图像的分割效果会有不同；同一个算法对不同的图像分割效果也有差别。评价图像算法分割效果常分为主观评价和客观评价两种。主观评价就是通过视觉对比，肉眼判断分割效果。客观评价通常使用一些指标进行评价，对于二值化的灰度图像全局阈值分割，常用区域一致性来进行评价，即对分割出来的背景和目标区域，在相同类别区域内像素的相似度越大，则一致性越好，分割质量越佳^[8]。区域一致性定义为：

$$U = 1 - (\sigma_0^2 + \sigma_1^2) / C \quad (7)$$

其中 $\sigma_i^2 = \sum_{(x,y) \in R_i} [f(x,y) - \mu_i]^2$,

$$\mu_i = \sum_{(x,y) \in R_i} f(x,y) / N_i$$

式中， $f(x,y)$ 为图像中 (x,y) 处的灰度值， C 为归一化因子， $R_i (i = 0,1)$ 表示背景和目标区域， N_i 表示背景和目标区域内像素点总数， σ_i^2 为背景和目标区域内像素点方差。图 2~图 4 中 3 幅图像区域一致性定量评价结果如表 1 所示。从表 1 的分析结果可知，视觉评价和定量评价的结果是一致的。

表 1 区域一致性对比

实验图像	OTSU 算法	Fan 算法	本文算法
硬币	0.8112	0.9565	0.9960
月亮	0.9532	0.9958	0.9966
人物	0.9986	0.9990	0.9998

4 总结

本文提出了一种改进的强调波谷信息的阈值分割算法，该算法充分考虑了阈值与图像空间性的分布情况，提出一个全新的方差因子，并通过实验，给出了权重计算公式，构造了一个新的阈值分割目标公式，从而达到了对光照不均图像分割的目的。利用本文算法分割效果良好，运算开销小，有着非常广泛的应用前景。

参考文献

- Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE Trans. on System Man Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- 何志勇,孙立宁,陈立国,等.OTSU 准则下分割阈值的快速计算.电子学报,2013,41(2):267-272.
- 胡斌,宫宁生.一种改进的 OTSU 阈值分割算法.微电子学与计算机,2009,26(12):153-155.
- 申铨京,张赫,陈海鹏,王玉,等.快速递归多阈值分割算法.吉林大学学报(工学版),2016,2:528-534.
- Ng HF. Automatic thresholding for defect detection. Pattern Recognition Letters, 2006, 27(4): 1644-1649.
- Fan JL, Lei B. A modified valley-emphasis method for automatic thresholding. Pattern Recognition Letters, 2012, 33(6): 703-708.
- Singh TR, Roy S, Singh OI, et al. A New Adaptive Thresholding Technique in Binarization. International Journal of Computer Science Issues, 2011, 8(6): 271-277.
- 李学俊,刘祥俊,赵礼良,等.基于梯度熵的 Otsu 图像分割算法.计算机工程与设计,2015,36(2):705-709.