

# 一种改进的用于裂缝图像分割的 Otsu 方法<sup>\*</sup>

朱鑫<sup>1 2 3</sup> 漆泰岳<sup>1 3</sup> 王睿<sup>1 3</sup> 李涛<sup>1 3</sup>

(1. 西南交通大学 交通隧道工程教育部重点实验室, 成都 610031; 2. 中铁工程设计咨询集团有限公司 郑州设计院; 郑州 450000; 3. 西南交通大学土木工程学院, 成都 610031)

**摘要:** 裂缝是隧道衬砌最常见的病害之一, 基于近几年快速发展的工程检测系统与图像处理算法的研究, 提出了一种 CCD 相机的衬砌裂缝快速检测系统采集裂缝图像。在提取裂缝特征之前, 需要将裂缝区域与图像背景分离。采用 Otsu 法进行分割处理, 然而传统的 Otsu 方法对裂缝区域过小的图像易产生欠分割; 对背景不单一或光照度不均匀的裂缝图像易造成过分割的情况。根据 Otsu 方法分割特点对该方法进行改进, 以达到更好的裂缝图像分割效果, 从而为实现隧道裂缝的快速检测埋下基础。

**关键词:** 裂缝图像; Otsu 最大类间方差; 阈值分割

中图分类号: TN391

文献标识码: A

文章编号: 1673-0836(2017)增1-0080-05

## An Improved Otsu Method for Image Segmentation of Cracks

Zhu Xin<sup>1 2 3</sup> , Qi Taiyue<sup>1 3</sup> , Wang Rui<sup>1 3</sup> , Li Tao<sup>1 3</sup>

(1. Key Laboratory of Transportation Tunnel Engineering, Ministry of Education, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, P.R. China; 2. Zhengzhou Branch, China Railway Engineering Consulting Group, Co. Ltd., Zhengzhou 450000, P.R. China; 3. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, P.R. China)

**Abstract:** Crack is one of the most common diseases of the tunnel engineering. Combined with the rapid development of detection systems and image processing algorithms in recent years, we proposed a rapid lining inspection system based on CCD for image acquisition. Before extracting fracture characteristics, it needs to separate the crack region from image background. Otsu method is used to separate the image, but the traditional Otsu method is easy to produce lacking segmentation for the image with small crack area, and it is easy to produce excessive segmentation for the crack image with a complex background or uneven illumination. In order to achieve better image segmentation results, the method is improved based on the separation characteristic of Otsu method and lay foundation for the rapid detection of tunnel cracks.

**Keywords:** crack image; Otsu method; thresholding

## 0 引言

随着国内铁路隧道的大量建设, 传统的主要依托人工的隧道病害检测方法已不能满足大量隧道的检测需求。近年来基于数字图像处理的检测技术已深入到土木工程领域, 为隧道裂缝检测方法提供了新的方向。对于基于数字图像处理的隧道裂

缝检测, 关键在于从图像中准确提取出裂缝病害, 即对图像中无关背景和裂缝病害进行分割提取。图像分割越准确, 裂缝病害提取越完整。

阈值分割技术是对图像进行分割的关键技术, 它是指将图像中目标区域和背景区域分割开来的图像二值化技术。通过阈值分割, 图像中目标区域被分离出来, 以便于后续的处理。至今已经有许多

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2016-10-15(修改稿)

作者简介: 朱鑫(1989-) 男, 四川南充人, 硕士生, 主要从事隧道与地下工程研究。E-mail: zhuxin1989@126.com

基金项目: 国家自然科学基金(51278423, 51478395)

阈值分割方法被提出<sup>[1-9]</sup>。其中,Otsu 法因计算简单适用性强而被广泛使用,如文献[10-11]采用 Otsu 法。然而对于目标区域相对过小、背景区与目标区对比度低、背景区像素灰度值与目标区像素灰度值有重叠以及灰度直方图不呈现明显双峰特性等图像,Otsu 方法不能对图像有效分割。较好的裂缝分割二值图像应为裂缝区域尽量完整,同时背景区域杂质较少,以方便后续的裂缝提取。在本文中研究隧道裂缝图像的分割处理时,根据裂缝图像背景单一但可能存在较多杂质区域以及裂缝区域所占图像比例小的特点,本文提出了改进的 Otsu 方法对图像进行分割处理,取得了较好的效果。

## 1 现有方法存在的问题

许向阳等<sup>[2]</sup>提出了一种基于边缘信息进行图像分割的一种方法,该方法先经过 Otsu 方法对图像进行粗分割,再依据图像边缘点的灰度值对粗分割后的目标区域进行细分割,直到分割后的区域边缘符合边缘检测到的边缘为止。由于该方法的细分割是计算了所有的粗分割目标区域,若图像背景灰度不均匀,在粗分割后便会产生较多的目标区域。因此计算程序较为复杂,计算时间较长;同时对目标区域灰度与背景区域灰度有重叠的图像也不能得到很好的效果。

刘平等<sup>[3]</sup>中采用了利用形态学处理得到边缘梯度,并根据梯度直方图来计算分割阈值。该方法在计算图像梯度时,所采用动态结构元的梯度算子计算具有很好的抗噪性和保持边缘特征的性质。在计算分割阈值时,文中通过实验统计来得到计算分割阈值的方法。该方法对低对比度图像分割效果显著提高,且运算较快。但仍存有一些问题,若图像中边缘较丰富,其梯度直方图不一定符合文中的推测,且计算分割阈值的公式也有局限性。

黄毅等<sup>[4]</sup>介绍了一种阈值法和区域生长法相结合的算法,该方法利用 Otsu 分割法得到分割阈值,并将计算得到的分割阈值用作区域生长法的生长准则,该方法能够实现较好的图像分割效果。但是由于使用 Otsu 方法计算目标区域较小的裂缝图像分割阈值很可能为 0,且该方法在应用中,需要人为选取反映生长条件苛刻程度的度量值,因此不适用于需要自适应分割的裂缝图像。

Yang 等<sup>[9]</sup>中介绍了一种改变原 Otsu 算法中相关参数的做法来得到一种改进的算法,该方法通过改变相应参数从而使得计算的分割阈值改变。但针对于不同的图像,Otsu 算法中参数的改变不一定可靠,仍需大量实例证明。

## 2 Otsu 方法改进

对于目标区域相对过小、背景区与目标区对比度低、背景区像素灰度值与目标区像素灰度值有重叠,以及灰度直方图不呈现明显双峰特性等图像,传统的 Otsu 方法不能很好地发挥作用。如在裂缝图像中,若裂缝区域面积相对过小或背景区域像素值与目标区域有过重重叠时,使用 Otsu 方法进行图像分割后,结果如图 1 所示。

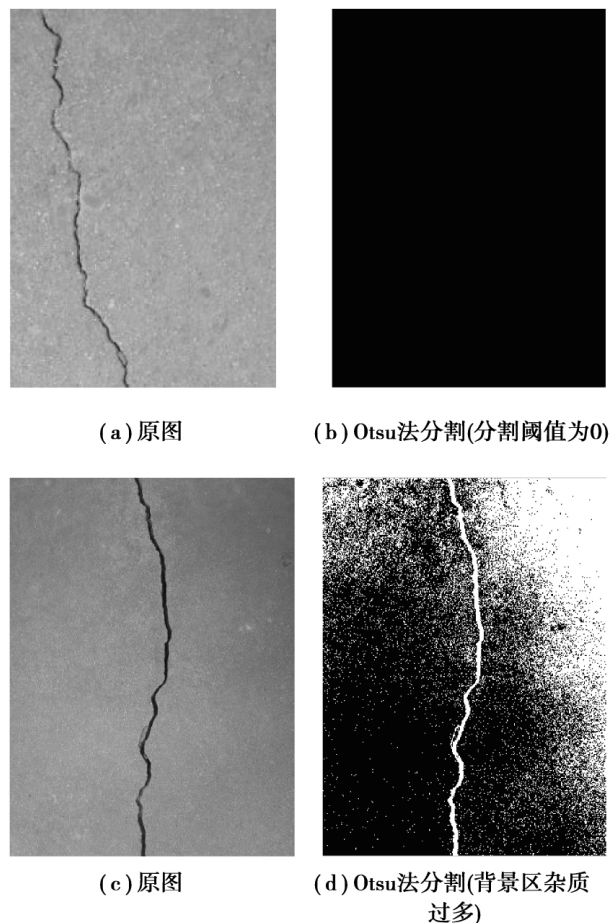


图 1 Otsu 法分割结果

Fig. 1 Segmentation results of Otsu method

### 2.1 基于裂缝边缘信息的 Otsu 阈值分割法

边缘是自动判别裂缝的关键所在。图像中目标区域(裂缝)的边缘是图像中相邻像素点变化较大的位置,其不连续性可以用梯度来表示,这里采

用 prewitt 算子<sup>[12]</sup>。一幅图像定义为一个二维函数  $f(x, y)$  其梯度定义为:

其在  $(x, y)$  处的幅度值大小为:

$$M(x, y) = \text{mag}(\nabla f) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

其中  $G_x, G_y$  用 prewitt 算子计算 如图 2 所示。

$z_1$	$z_2$	$z_3$	-1	-1	-1	-1	0	1
$z_4$	$z_5$	$z_6$	0	0	0	-1	0	1
$z_7$	$z_8$	$z_9$	1	1	1	-1	0	1

(a) 图像邻域 (b)  $G_x = (z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3)$  (c)  $G_y = (z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7)$

图 2 Prewitt 算子示意图

Fig. 2 Sketch map of prewitt operator

本文将梯度信息 prewitt 算子与 Otsu 方法相结合,用于图像分割,以达到更好的分割效果,后文将其称为梯度类间阈值法。具体步骤如下:

(1) 计算图像  $f(x, y)$  的梯度图像,将式(2)计算得到的  $M(x, y)$  存入一个新的二维矩阵  $M$ 。

(2) 将所得的梯度矩阵  $M$  进行二值化,得到二值图像  $g(x, y)$ ,与其对应的二维矩阵中非 0 即 1。阈值为梯度矩阵  $M$  中最大值的  $\alpha$  倍 ( $0 < \alpha < 1$ )。

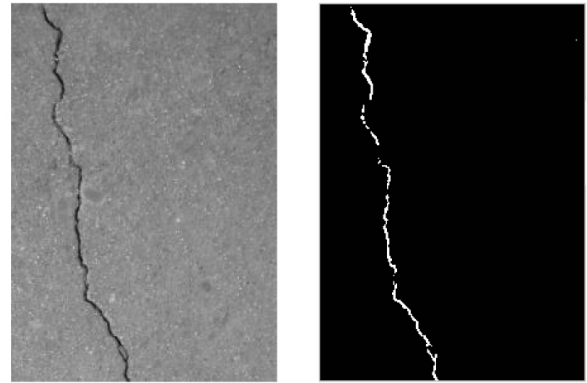
(3) 将原图像  $f(x, y)$  的二维数组与图像  $g(x, y)$  的二维数组对应点相乘得到新的图像矩阵  $N$ 。即像  $g(x, y)$  对应矩阵中为 1 的位置显示相应原图像像素值,其余位置像素值为 0。

(4) 用 Otsu 方法计算图像  $N$  的阈值  $T$ ,利用该阈值对图像  $f(x, y)$  进行分割,得到该方法的二值图像。

使用该方法对图 1 中的原图进行计算,得到的分割结果如图 3 所示。

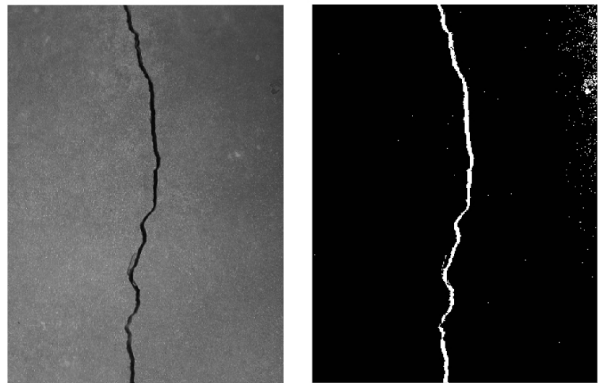
对比图 1 和图 3 中的 (b)、(d) 两图可以发现:

对于使用 Otsu 法计算得到的分割阈值为 0 的图像,使用一次改进后的 Otsu 法能够很好的得到裂缝区域的图像。对于使用 Otsu 法计算的分割阈值不为 0,背景区域灰度不均的图像,使用一次改进后的 Otsu 法进行分割后,计算得到的分割阈值小于原 Otsu 法计算的分割阈值,分割所得图像杂质区域较少,但对于裂缝区域的分割效果不如原 Otsu 法,原 Otsu 法分割所得到的裂缝区域更为完全。



(a) 原图

(b) 一次改进后 Otsu 法分割结果



(c) 原图

(d) 一次改进后 Otsu 法分割结果

图 3 基于边缘信息的 Otsu 法分割结果

Fig. 3 Segmentation results of Otsu method based on edge information

## 2.2 二次改进的 Otsu 法

经过上述改进后可以发现,对于背景不均的图像,虽然整体效果较好,但该方法对裂缝区域的分割不如原 Otsu 法。其原因在于,一次改进后的 Otsu 法计算所得的分割阈值  $T_1$  小于原 Otsu 法计算所得的分割阈值  $T$ ,因此图像中灰度值在  $T_1 \sim T$  之间的像素点全部作为了背景点。而实际中,裂缝区域中可能有一部分点的灰度值在  $T_1 \sim T$  内,在利用一次改进后的 Otsu 法进行分割后,这部分裂缝区域所含有的点也被当做了背景点,从而造成了对裂缝区域的分割效果不如 Otsu 法的分割效果。

基于上述分析,本文在一次改进的基础上进行二次改进。选择灰度值在  $T_1 \sim T$  之间的像素点,并对该部分点使用 Otsu 法计算的分割阈值  $T_2$ , $T_2$  必然在  $T_1 \sim T$  之间。因此,使用  $T_2$  对原始图像再进行分割,得到最终的分割图像,分割结果如图 4 所示。

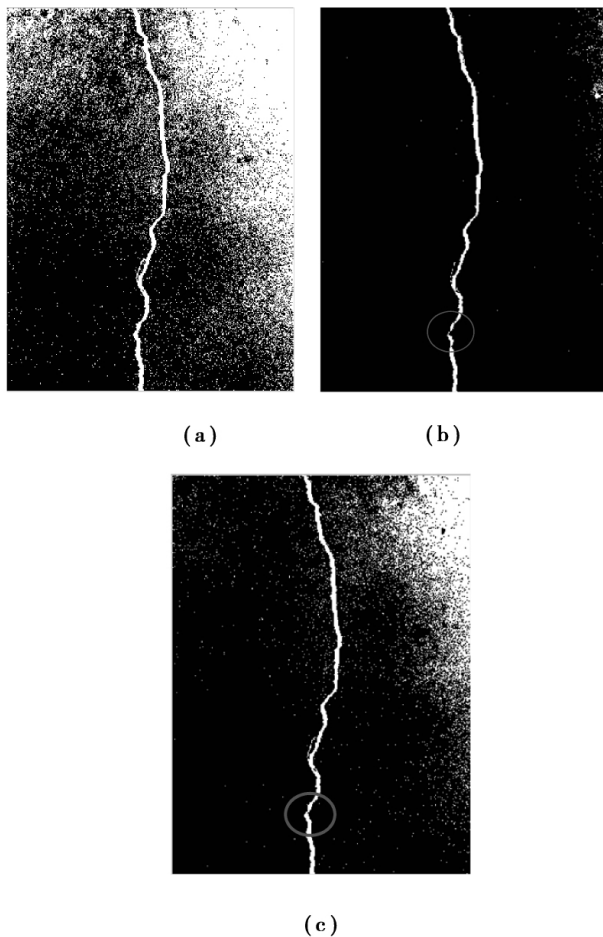


图 4 三种分割结果对比

Fig. 4 Comparison of three kinds of segmentation results

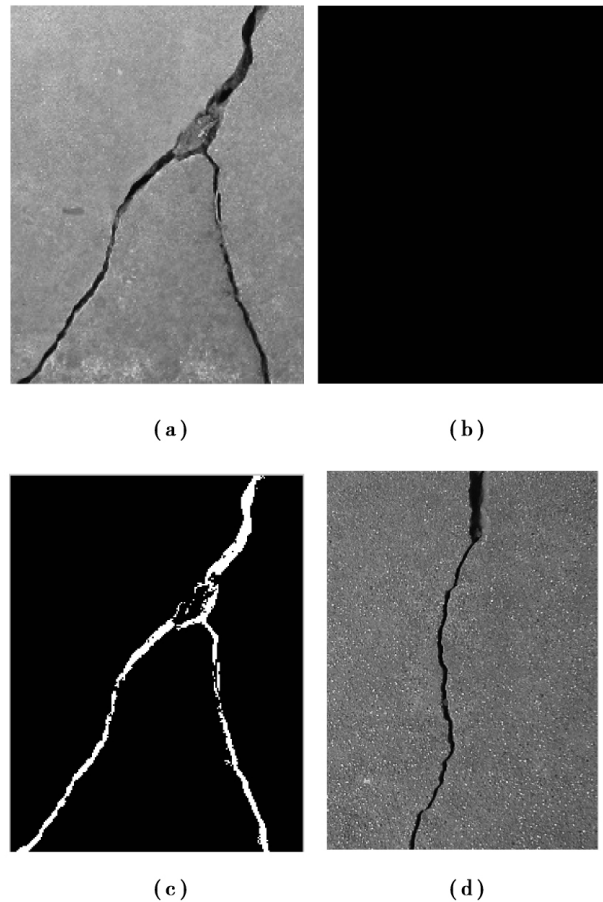
图 3 中的 (a)、(b)、(c) 分别表示 Otsu 法分割效果、一次改进后分割效果、二次改进后分割效果, 3 种分割方法所对应的分割阈值分别为 127、94、114。可以看出, 利用原 Otsu 法计算得到的分割阈值较大, 分割后的裂缝区域最为完整, 但背景区域杂质较多, 不利于图像的后续处理速度<sup>[13-14]</sup>, 且该方法对于有些裂缝图像并不能进行分割, 如图 1 中所示。一次改进后的 Otsu 方法的分割阈值最小, 因此能够显著减少背景区域中的杂质。由于其仅基于部分像素点进行分割阈值运算, 所以对有些不能使用 Otsu 法进行分割的裂缝图像有效, 但该方法分割得到的裂缝区域不完整, 特别是裂缝区域中灰度值较大的部分不能被分割出来。二次改进后的 Otsu 分割方法, 能够较少直接使用 Otsu 法分割所造成的杂质区域, 同时能改善一次改进后的 Otsu 方法对裂缝目标区分割的不足 (图 4 中标注区域)。

### 3 试验结果

利用 matlab7.0 对部分裂缝图像采用上述方法进行处理, 结果如图 5 所示。

图 5 中 (a) ~ (f) 分别代表原图、Otsu 法分割图、一次改进后 Otsu 法分割图、原图、Otsu 法分割、一次改进后分割、二次改进后分割。

图中红色圆圈区域为一次改进 Otsu 法和二次改进 Otsu 法对裂缝区域分割的不同之处。二次改进的 Otsu 法对裂缝的分割更为完整。从效果上来看, 二次改进后 Otsu 法分割结果介于一次改进 Otsu 法分割结果和原 Otsu 法分割结果之间。从图像裂缝提取的角度来看, 二次改进后的分割结果既能较传统 Otsu 法拥有更少的背景杂质区域, 降低裂缝提取的运算次数和判别条件, 又能得到较一次改进所得分割结果更为完整的裂缝边缘区域<sup>[13]</sup>。



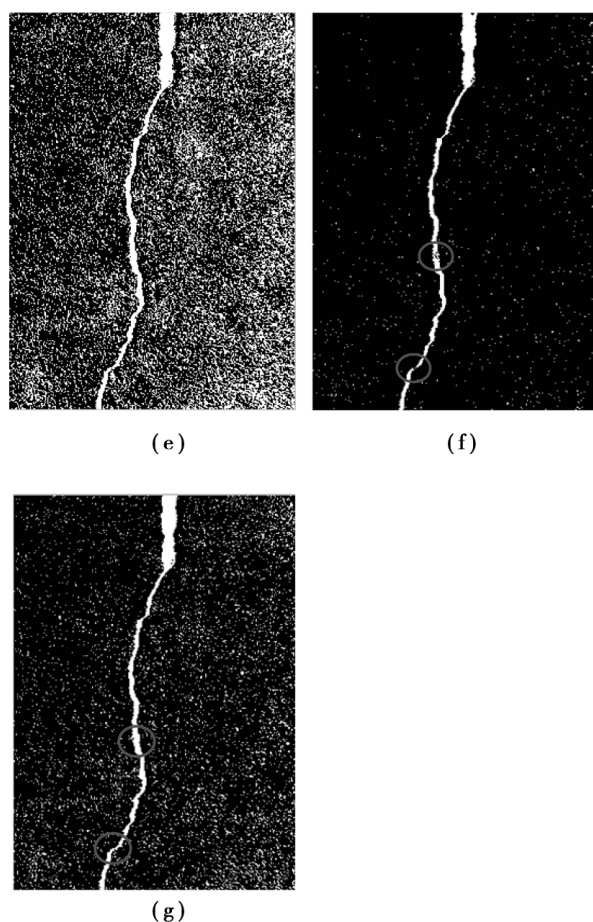


图 5 一次改进与二次改进后 Otsu 法的分割效果

Fig. 5 Segementation results of the first improved Otsu method and the second improved Otsu method

## 4 结语

通过对 Otsu 法对裂缝图像分割缺陷的分析,提出了改进的 Otsu 法。该方法通过两次改进来实现对图像的优化分割。通过第一步改进,可以实现目标裂缝区与背景区区别灰度相差不大时图片的自动分割,但同样可能使得目标区边缘缺失等情况发生。通过第二步改进,可以有效降低第一步改进时所造成的边缘缺失的状况,同时背景中杂质区域也比直接使用 Otsu 法分割所得图像的杂质区域少。另外,通过两步改进,利用传统 Otsu 法不能分割的图像也能被分割。实验表明改进方法对裂缝图像是有效的。

## 参考文献(References)

- [1] 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.
- [2] 许向阳,宋恩民,金良海. 边缘和区域多阶段结合的图像分割[J]. 小型微型计算机系统, 2011, 32(5): 943-946.
- [3] 刘平, 陈斌, 阮波. 基于边缘信息的图像阈值化分割方法[J]. 计算机应用, 2004, 24(9): 28-36.
- [4] 黄谊, 任毅. 基于阈值法和区域生长法的图像分割算法研究[J]. 电子测试, 2012, 10(10): 23-25.
- [5] Ng H F. Automatic thresholding for detect detection[J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27(14): 1644-1649.
- [6] Liao P S, Chew T S, Chung P C. A fast algorithm for multilevel thresholding [J]. Journal of Information Science and Engineering, 2001, 17(5): 713-727.
- [7] Xue J H, Michael D. Median-based image thresholding [J]. Image and vision computing, 2011, 29(9): 631-637.
- [8] Fan J L, Zhao F, Zhang X F. Recursive algorithm for three-dimensional Otsu's thresholding segmentation method [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(7): 1398-1402.
- [9] Yang X L, Shen X J, Long J W. An improved median-based Otsu image thresholding Algorithm [J]. AASRI Procedia, 2012, 3: 468-473.
- [10] 胡培成, 黎宁, 周建江. 一种改进的基于圆环点的摄像机自标定方法[J]. 光电工程, 2007, 34(12): 54-60.
- [11] 刘晓瑞, 谢雄耀. 基于图像处理的隧道表面裂缝快速检测技术研究[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(2): 1624-1627.
- [12] Ra C G, Ri E W. Digital image processing using Matlab [M]. Bei Jing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [13] 朱鑫. 隧道结构表面病害特征快速检测研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.
- [14] Bang Y L, Yun Y K, Seo Ta, Y. Automated image processing technique for detecting and analyzing concrete surface cracks[J]. Structure and Infrastructure Engineering, 2011, 9(6): 1-11.