

# 一种基于顶帽变换和 Otsu 阈值的轨道边缘提取方法

李孟歆 侯丁丁 夏兴华 许伟靖 范静静

(沈阳建筑大学 沈阳 110168)

**摘要** 为了解决轨道障碍物识别中轨道边缘不易定位的问题,针对轨道图像的特征,文章提出了一种基于 Otsu 阈值改进的轨道边缘提取方法。该方法先确定铁轨主体的灰度区域,再通过 Otsu 求出灰度阈值,然后利用二值图像中标记连通区域,对轨道图像进行处理,得到清晰的轨道边缘提取图像。通过对几种已提出的并具有较好效果的边缘提取方法进行分析,如边缘梯度算子 sobel、小波分割算法、Otsu 自适应阈值分割等,并将其应用在实时轨道图像中,与改进的 Otsu 方法进行对比实验。结果表明,该方法实验效果准确、完整,并有效抑制了背景噪声。

**关键词** Otsu; 自适应阈值; 边缘提取; 二值化处理

## Extraction of Railway Track Edge Based on Top Hat Transform and Otsu Thresholding

LI Mengxin HOU Dingding XIA Xinghua XU Weijing FAN Jingjing

(Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract** In order to locate the edge in the rail obstacle recognition, an improved algorithm for rail image's edge extraction based on threshold segmentation with the features of rail images was proposed. Firstly, the main gray area of the rail was defined, to find the grayscale threshold through Otsu. The connected component in binary image was labeled so that clear edge image was extracted. Several edge extraction methods such as edge gradient operator sobel, wavelet segmentation algorithm, Otsu adaptive thresholding, were analyzed and applied in real-time rail image, and comparison experiments were conducted with that using the improved Otsu method. Experimental comparison results show that the experimental results by the improved method were more accurate and complete, with background noise being suppressed effectively.

**Keywords** Otsu; adaptive threshold; edge extraction; binarization processing

## 1 引言

目前,铁路运输任务越来越繁重,因轨道障碍物引起的列车事故时有发生。因此,基于图像识别的铁轨检测方法已成为热点研究问题之一。由于应用背景的特殊性,如何在复杂的运行环境中准确地将轨道识别出来,是实现防撞预警功能的一个瓶颈。

目前,已有研究者提出了轨道的边缘检测方法。比较典型的有边缘梯度算子检测法<sup>[1]</sup>、小波分解法<sup>[2]</sup>。

边缘梯度算子检测法是根据轨道边缘处灰度有明显跳变的原理,利用空域方向性强的垂直梯度算子作为掩模对图像对应像素加权差分来完成边缘分割。小波分解法是频域中利用小波分解检测边缘,即选择适当的小波函数,使小波分解的细节分量真实地反应出边缘的局部灰度突变。这两种方法对边缘像素变化趋势具有相对一致的图像有较好的效果,但如果应用在多角度、复杂光照条件下的轨道表面时,边缘分割的效果则不太理想,容易出现边缘不连续、背景噪声大等问题,适应性亦较差。

**作者简介:** 李孟歆,教授,研究方向为模式识别、图象处理、智能控制、粗糙集理论;侯丁丁(通讯作者),硕士研究生,研究方向为图像分割技术, E-mail: tintinimage@gmail.com;夏兴华,副教授,研究方向为图像处理、模式识别;许伟靖,硕士研究生,研究方向为火灾检测;范静静,硕士研究生,研究方向为视频图像检测与跟踪。

针对以上问题,本文提出了适合轨道图像特征的边缘提取算法,采用 Otsu 阈值分割结合连通域标记方法对轨道进行检测。

## 2 图像采集及预处理

列车运行环境复杂,存在电缆、树木、碎石等干扰。而且,因为要实时检测前方是否存在障碍物,需要采用车载摄像机对前方轨道进行拍摄来获取图像数据,图像难免出现抖动、模糊等缺陷,因此图像处理准确性下降,计算量增加。

如图 1 所示,左边铁轨出现了抖动模糊的状况,为了提高图像处理的准确率,本文采用形态学运算中的顶帽运算<sup>[3]</sup>对原图像进行增强处理。顶帽运算是一个重要的形态学变换,称为开运算(Opening)。图像  $X$  关于结构元素  $B$  的开运算记为  $X \circ B$ , 定义为:

$$X \circ B = (X \ominus B) \oplus B \quad (1)$$

本文采用直径为 4 的“diamond”结构元素做开运算,如图 2 所示,将较亮部分(铁轨)做了增强处理,提亮了双轨部分,有效抑制了背景高亮部分(作黑色显示)的干扰,达到了增强图像的效果。



图 1 轨道图像片段



图 2 顶帽增强

## 3 轨道边缘提取方法

### 3.1 Otsu 二值图像分割及阈值选择

Otsu 法<sup>[4-5]</sup>是基于图像中目标和背景的可分离性而提出的。该方法建立在假设图像中目标和背景所构成的混合密度函数是由两个服从等方差的正态分布子分布的基础之上。基本原理如下:现设  $f(x,y)$  为  $M \times N$  大小图像上点  $(x,y)$  的灰度值,灰度级为  $L$ ,同时假设  $f(x,y)$  的取值范围为  $[0,L-1]$ ,可记为  $G_L =$

$\{0,1,2 \dots L-1\}$ 。设  $p(i)$  为图像  $f(x,y)$  中灰度级为  $i$  的频数,则灰度级  $I$  出现的概率为:

$$p(i) = \frac{1}{M \times N} \sum_{f(x,y)=i} f(x,y) \quad i \in G \quad (2)$$

假设图像的分割阈值为  $t$ ,则把图像分为两个区域:目标区域 1 和背景区域 2,分别用  $\{f(x,y) < t\}$  和  $\{t < f(x,y) < M\}$  表示,于是有:

$$\text{目标部分比例: } p_1(t) = \sum_{i=0}^t p(i) \quad (3)$$

$$\text{背景部分比例: } p_2(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} p(i) \quad (4)$$

$$\text{目标均值: } w_1(t) = \sum_{i=0}^t ip(i) / p_1(t) \quad (5)$$

$$\text{背景均值: } w_2(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} ip(i) / p_2(t) \quad (6)$$

$$\text{总均值: } L = w_1(t)p_1(t) + w_2(t)p_2(t) \quad (7)$$

为了得到最优分割阈值,Otsu 把两类灰度区域的类间方差作为判别标准,认为使得  $\sigma^2$  值最大的  $T$  即为所求的最佳阈值:

$$T = \underset{t \in G_t}{\text{Arg Max}} [p_1(w_1 - L)^2 + p_2(w_2 - L)^2] \quad (8)$$

本文选用经过顶帽运算增强后的图像进行 Otsu 处理,也就是基于归一化自适应阈值分割求取对多帧图像计算最佳阈值,如表 1 所示, $fT$  为阈值归一化结果, $T(\text{average}) = 0.2761$ ,并以此作为最佳阈值对轨道图像进行二值化分割,在保障分割效果的前提下可以减少边缘提取过程中图像二值化的处理时间。

表 1 多帧轨道图像阈值分布

	1	2	3
fT	0.2852	0.2863	0.2854
T	0.2779	0.2784	0.2780
4	5	6	average
0.2806	0.2827	0.2826	0.2838
0.2727	0.2749	0.2748	0.2761

### 3.2 连通域标记

二值化的轨道边缘具有自然连续性,平滑性较好,呈细长状,横向贯穿整幅图像,长宽比明显大于表面缺陷。但由于列车运行过程中的颤振与摆动,容易引起视频采集过程中图像出现晃动等现象,使得处理后的二值图像中包含了背景噪声。而利用递归算法可标记出多个标号的连通区域,然后选择横向贯穿整幅图像的长条形连通区域,完成轨道边缘的定位与提取<sup>[6]</sup>。

直接将图片灰度化、二值化后得到的轨道图像边缘并不完整, 因此考虑将 RGB 图像转换到 HSI 颜色空间, 利用 H 分量进行灰度化、二值化处理, 可较好地保留轨道的边缘。随后采用 8 连通区域标记, 求出像素值为 1 的连通区域的个数, 并对连通区域进行降序排列, 以确定去除噪声的轨道边缘提取图像。

## 4 实验与分析

实验平台采用 CCD 摄像机采集图像送入 FPGA 芯片中, FPGA 通过串口将图像发送至 PC 机, 最后由 Matlab 进行算法仿真验证。

为了对本文提出方法的效果进行验证, 分别采用 sobel 边缘检测算子、小波边缘检测方法、Otsu 阈值分割算法以及本文提出的方法对图像进行对比处理实验, 图 3 为边缘检测处理的对比结果。

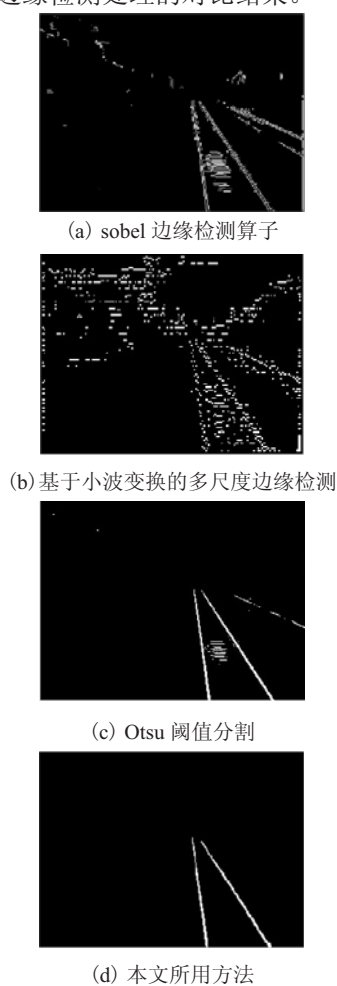


图 3 不同方法处理边缘检测对比结果

从对比实验可以看出, 图 3(a) 中 sobel 算子提取边缘<sup>[7]</sup>的结果比较完整, 位置也较为准确, 但同时一些伪边缘也被检测出来, 故并没有很好的突出路轨部分; 图 3(b) 中, 基于小波变换的多尺度边缘检测, 虽然能将轨道主体部分完整地检测出来, 但其边缘不连续, 呈颗粒状分布, 背景噪声亦较大; 图 3(c) 中, 采用 Otsu 阈值处理得到的结果仍然包含了大量背景噪声, 轨道主体不突出; 而图 3(d) 所示, 采用本文提出的基于改进的阈值方法, 取得了较理想的效果, 有效抑制了背景噪声, 更好地突出了轨道主体部分。

## 5 结 论

改进的阈值分割算法在轨道图像边缘检测中具有较好的检测处理效果, 提取得到的轨道边缘清晰, 背景噪声较小, 轨道边缘定位简单而准确。同时, 改进算法的方法简单, 运算效率较高, 精度亦较高, 能够满足轨道边缘实时测量的需要。

### 参 考 文 献

- [1] 苏兰海, 潘爱文, 马祥华. 热轧窄带钢模糊边界的精确求解 [J]. 北京科技大学学报, 2008, 30(3): 307-310.
- [2] 张闯. 铁轨缺陷检测系统的算法优化 [D]. 大连: 大连海事大学, 2005.
- [3] 冯国进, 顾国华, 陈钱. 基于形态学的红外图像边缘增强 [J]. 激光与红外, 2003, 33(6): 453-454.
- [4] 王凤朝, 黄树采, 韩朝超. 基于改进的二维 Otsu 法的图像分割法 [J]. 航空计算技术, 2008, 38(4): 4-7.
- [5] 邱丽君, 侯德文, 王依才. 改进的二维 Otsu 图像分割方法的研究 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(33): 195-197.
- [6] Kesheng W, Ekow O, Kenji S. Optimizing two-pass connected-component labeling algorithms [J]. Pattern Analysis & Applications, 2009, 12(2): 117-135.
- [7] 袁春兰, 熊宗龙, 周雪花. 基于 Sobel 算子的图像边缘检测研究 [J]. 激光与红外, 2009, 39(1): 85-87.
- [8] Chen TW, Chen YL, Chien SY. Fast image segmentation based on K-means clustering with histograms in HSI color space [C] // Proceedings of the IEEE 10th Workshop on Multimedia Signal Processing, 2008: 322 -325.
- [9] 梁旭东, 武妍. 基于邻域特征与聚类的图像分割方法 [J]. 计算机工程, 2011, 37(3): 201-203.