

# 基于像素数量统计的道岔转辙机缺口边缘检测算法

杜 森 张 烁 梁景源 刘松贺

(青岛地铁运营有限公司, 266400, 青岛//第一作者, 助理工程师)

**摘 要** 目的:针对青岛地铁13号线现有的道岔转辙机缺口图像检测系统存在的不足,提出了基于数量统计的边缘检测优化算法,以便提高缺口检测精度。方法:利用中值滤波将采集的缺口图像中的噪声滤除且可保留图像边缘信息;利用图像形态学处理基本算法中的腐蚀、膨胀、开运算和闭运算,进一步优化图像边缘,避免图像边缘轮廓的模糊或者毛糙,为后续处理提供优质图像样本;利用Canny算子提取缺口图像的边缘特征,结合动态阈值算法对阈值实时更新;经过基于数量统计的边缘检测优化算法,对图像进行最终的边缘位置确认,从而计算出缺口数值。结果及结论:经过试验验证,算法优化后的图像缺口准确率提高了近5%,准确率提高得较为明显。因此,基于数量统计的边缘检测优化算法能够减少因检测不准确原因而出现的道岔转辙机缺口数据报警概率。

**关键词** 地铁;道岔转辙机;缺口检测;动态阈值;图像处理

**中图分类号** U213.6<sup>+1</sup>

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2023.07.046

## Switch Machine Gap Edge Detection Algorithm Based on Pixel Quantity Count

DU Sen, ZHANG Shuo, LIANG Jingyuan, LIU Songhe

**Abstract** Objective: To address the shortcomings of the current switch machine gap image detection system on Qingdao Metro Line 13, an edge detection optimization algorithm based on quantity counts is proposed to improve the accuracy of gap detection. Method: Median filtering is used to filter out the noise in the collected gap image and preserve the edge information of the image. Image morphology is used to process the corrosion, dilation, open operation, and close operation in the basic algorithm to further optimize the image edges, avoid blurring or roughness of the image edge contour, and provide high-quality image samples for subsequent processing. Canny operator is used to extract the edge features of the gap image, updating the threshold in real-time by combining dynamic threshold algorithm. Through the edge detection optimization algorithm based on quantity counts, the final edge position of

the image is confirmed, thus the gap value is calculated. Result & Conclusion: After experimental verification, the accuracy of the image gap optimized by the algorithm is improved by nearly 5%, with a significant improvement in accuracy rate. Therefore, edge detection optimization algorithms based on quantity counts can reduce the probability of switch machine gap data alarms caused by inaccurate detection.

**Key words** metro; switch machine; gap monitoring; dynamic threshold; image processing

**Author's address** Qingdao Metro Operation Co., Ltd., 266400, Qingdao, China

在车站联锁系统中,道岔(本文选用的是ZDJ9型转辙机)是重要组成部分。道岔的转辙机负责进行股道的转换和可靠的锁闭,同时对道岔位置进行表示<sup>[1-2]</sup>。道岔的密贴程度对列车的运行安全至关重要;如果密贴程度不符合标准,可导致列车“掉道”“脱轨”,甚至造成严重的运行事故<sup>[2-3]</sup>。转辙机缺口的大小,直接反应密贴的质量,因此,对转辙机缺口数据的精准检测十分重要。

## 1 转辙机缺口结构和工作原理

ZDJ9型转辙机在正常情况下,当道岔转换完成后,检查柱会准确落入表示杆的凹槽中。其中检查柱与检查块之间所形成的间隙,是具有重要意义的缺口。表示杆一端连接道岔尖轨,另一端与检查柱形成缺口,因此缺口的数值可直接反映出密贴程度。由于检查柱是垂直运动,在水平上没有位移,可将检查柱的位置定为固定端,则表示杆的检查块为移动端,二者之间距离即为缺口。转辙机缺口结构图如图1所示。

## 2 转辙机缺口检测系统

青岛地铁13号线采用ZXVH-H型转辙机缺口检测系统。该系统是基于图像处理方法的检测系统。其图像采集器在检测软件控制下,采集并压缩

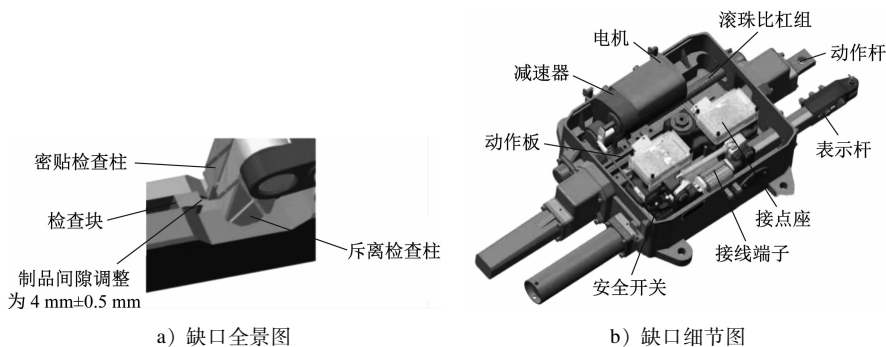


图 1 转辙机缺口结构图

Fig. 1 Diagram of switch machine notch structure

各个表示缺口的实时图像,经过转换器传输到室内设备;室内检测软件识别、分析并记录每个转辙机即时的表示缺口的间隙值;当间隙值大于或小于预设间隙值时,自动给出报警信息,供信号维护人员维护转辙机缺口作参考<sup>[4]</sup>。然而,在日常维护中发现,缺口检测系统对缺口的检测结果存在一定的偏差。缺口采集图像截图如图 2 所示。

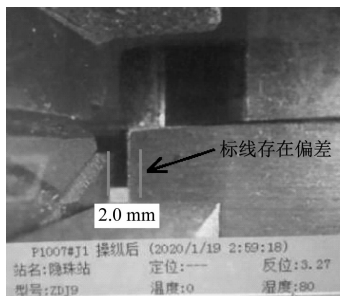


图 2 缺口采集图像截图

Fig. 2 Screenshot of gap acquisition image

由图 2 可看出,图像中的标线存在明显的偏差。这将导致系统采集缺口数值大小不准确,从而在日常设备巡视工作中不能实时且准确地掌握缺口大小,会在一定程度上威胁列车的安全运行。

造成这样的结果,主要存在 2 个方面原因:

1) 由于转辙机常年在封闭的铁箱内工作,采集图像时需对监测区域照明,但由于各转辙机表面受污染程度不同,因此补光时的曝光率很难确定,而图像处理本身对于光线就比较敏感,因此给检测算法带来很大的难度。

2) 缺口检测系统对图像的处理采用了固定阈值,图像的边缘检测算法不具备鲁棒性,对于噪声的干扰,抵抗性较差,致使对于一些图像的边缘检测未能达到理想效果。

为解决上述问题,一方面可从工程机械角度进

行一定的优化,即对缺口位置进行清洁,增加一定的曝光率,并更换较大功率的照明设备,以提高图像清晰度;另一方面,工程机械方面的优化并不能解决图像处理算法的缺陷问题,为此提出了基于动态阈值的图像分割及基于数量统计的边缘检测优化算法。

### 3 缺口检测算法优化

采用动态阈值和基于数量统计的边缘优化算法优化对缺口边界识别的精度。缺口检测算法流程图如图 3 所示:

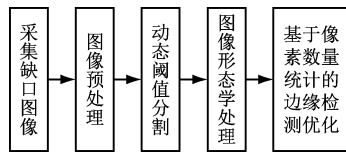


图 3 缺口检测算法流程图

Fig. 3 Flow chart of gap monitoring algorithm

青岛地铁 13 号线室外转辙机箱为密闭环境,缺口检测系统照明光源强度恒定,图像采集摄像头垂直于缺口上方安装,因此本文在垂直缺口图像且光线恒定的前提下进行分析研究。

#### 3.1 图像预处理

在图像处理中,由于相机自身因素和环境因素的干扰,得到的图像信息通常会带有噪声,滤除噪声常用波方法有均值滤波、中值滤波和高斯滤波。中值滤波相比于上述 2 种滤波,在去除噪声的同时,能够很好保持图像轮廓信息。因此,本文选用中值滤波法对图像进行预处理。

中值滤波的设计思想是将模板内像素点按照一定的顺序(升序或降序)排列,噪声点的排列位置必然靠近两端位置。定义图像为  $f(x,y)$ ,则利用模板算子对图像  $f(x,y)$  进行中值滤波  $g(x,y)$  计算,其

计算式为:

$$g(x,y) = M_{(x,y) \in S(x,y)} f(x,y) \quad (1)$$

式中:

$M$ ——二维模版;

$S(x,y)$ ——计算模板  $M$  覆盖的图像像素点位置取值范围。

对加入噪声的图像利用不同模板算子处理的滤波效果如图4所示。

将图4 a) 添加椒盐噪声并取灰度图, 可得出图4 b), 此时图像具有一定的噪声干扰; 经中值滤波后得到的图4 c) 可以较好地去处噪声, 且保留原图中关键的边界部位。因此, 中值滤波在滤除噪声的同时可保留图像边缘信息, 避免图像边缘轮廓的模糊。

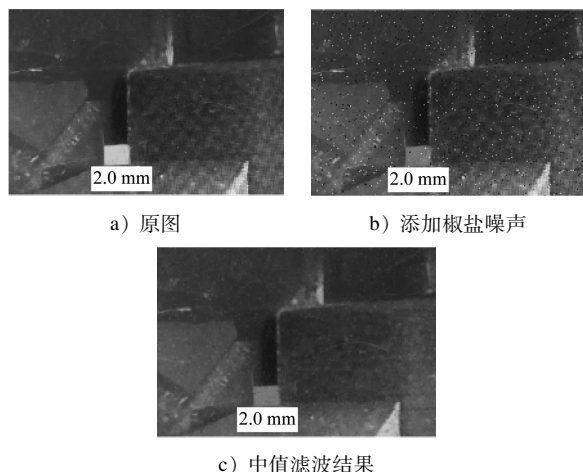


图4 不同模板算子处理的滤波结果

Fig. 4 Filter results of operator processing of different templates

### 3.2 动态阈值分割

在图像处理时, 受外界光线的干扰一般比较大, 假如在阈值分割时采用固定阈值, 那么在环境改变时分割效果受影响极大。为了避免此影响就必须采用动态阈值, 自动求出合适的阈值进行分割。

最大类间方差法, 是一种自适合于双峰图像的自动计算阈值的方法。算法根据图像灰度值的不同, 将图像像素点划分为背景和目标2个部分。利用这2个部分的方差值来表示两者值间的差别。假设图像  $I(x,y)$  分割后属于目标的像素点个数为  $N_a$ , 属于背景的像素点个数为  $N_b$ 。图像尺寸大小为  $m \times n$ , 单位为像素, 那么对于每一个  $T$  (背景和目标的分割阈值) 取值, 均满足以下关系:

$$\sigma(T) = \omega_a(\mu_a - \mu)^2 + \omega_b(\mu_b - \mu)^2 = \omega_a \omega_b (\mu_a - \mu_b)^2 \quad (2)$$

式中:

$\sigma(T)$ ——类间方差;

$\mu$ ——总的灰度平均值;

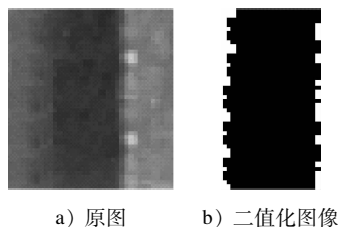
$\omega_b$ ——占有所有背景像素点个数的比重;

$\omega_a$ ——占有所有目标像素点个数的比重;

$\mu_a$ ——目标像素点平均灰度值;

$\mu_b$ ——背景像素点平均灰度值。

根据方差定义, 类间方差越大说明图像背景和目標2个部分差别越大。因此, 当类间方差达到最大值时, 此时二值化阈值  $T$  意味着将图像背景和目標像素的错分概率最小。将  $T$  从 0 ~ 255 进行遍历, 计算出背景与目標的最大方差, 此时的阈值  $T$  即为所要求的最佳分割阈值。图像的二值化处理见图5所示。



a) 原图 b) 二值化图像

图5 图像二值化处理

Fig. 5 Image binarization processing

### 3.3 图像形态学处理

图像预处理后, 图像仍可能存在不易消除的噪声杂点, 二值化后图像的噪点可在图像形态学处理中进一步消除。图像形态学处理基本算法分为: 腐蚀、膨胀、开运算和闭运算, 对二值化后的缺口图像进行相应图像形态学运算, 以消除剩余噪点。

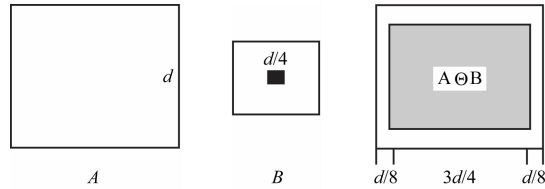
假定一个待处理目标区域为  $A$ ,  $B$  为结构元素, 将  $A$  与  $B$  进行卷积运算, 得出局部最小值。  $B$  对  $A$  的腐蚀记为  $A \ominus B$ , 那么腐蚀可定义为:

$$A \ominus B = \{x, y \mid B_{xy} \subseteq A\} \quad (3)$$

由式(3)的定义可知,  $B$  的中心原点在腐蚀后的区域中平移时,  $B$  始终完全包含于  $A$  中。腐蚀运算可以将图像边界点消除, 可以将边界向内部压缩, 使部分区域缩小, 因此可以用来消除微小的噪声干扰点。图像腐蚀运算示意图如图6所示。图像腐蚀效果如图7所示。

### 3.4 基于像素数量统计边缘检测优化算法

对二值化图像进行边缘检测, 可将图像中边缘的部分检测出来, 但在环境恶劣的情况下, 并不能排除干扰情况的存在。由图7 c) 可看出, 边缘检测得到的边缘图像, 纵向上的边缘线条出现弯折。针



a) 集合 A      b) 结构元素 B      c) B 对 A 腐蚀结果  
注: d—边长尺寸。

图 6 图像腐蚀运算示意图

Fig. 6 Diagram of image corrosion calculation



a) 原图      b) 二值化图像      c) 5 像素 × 5 像素模板腐蚀

图 7 图像腐蚀效果图

Fig. 7 Diagram of image corrosion effect

对此情况,本文提出了对图像边缘像素用数量统计的方法进行优化,得出最优的图像边缘。将图像以左下角为原点建立平面坐标  $(x,y)$ ,图像尺寸为  $m \times n$  像素,那么可得计算式为:

$$f(x) = \sum_{y=0}^n f(x,y)p_{(x,y)} \quad (4)$$

式中:

$f(x)$ ——每个横坐标下的边界点数量;  
 $p_{(x,y)}$ ——像素值,取 0 或 1。

将原始图像图 8 a) 进行 Canny 算子处理可得出图 8 b),可见其显然存在一定弯曲性;对图 8 b) 经过像素数量统计,可得出像素统计结果如图 8 c) 所示,即像素集中存在于  $x$  轴左右三处。由于图像在恶劣环境下,图像某一边界的相邻位置集中出现了较大数值,不易判断图像的 2 处边界位置,因此给边缘位置的确定带来一定困难。对此,本文采用极大值分析法进行优化处理。

3.4.1 极大值分析

本文针对图像像素统计结果,根据某一位置  $i$  的值  $f(i)$  与相邻的  $f(i-1)$  和  $f(i+1)$  进行比较,得出极大值分析结果:

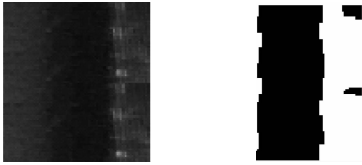
$$f(i) = \begin{cases} f(i), & f(i-1) < f(i), f(i+1) < f(i) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

式中:

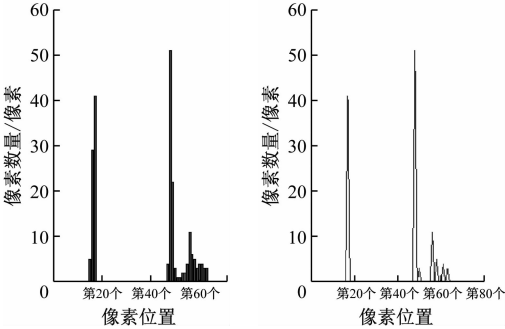
$i$ ——图像横坐标的某一位置;  
 $f(i)$ —— $i$  位置的边界点数量。

根据式(5)可得出图像 8 d) 的极大值统计结

果,利用极大值点可准确地判断图像的 2 处边界位置。



a) 原始图像      b) Canny 算子处理后的图像



c) 像素统计结果      d) 极大值统计结果

图 8 数据统计边缘检测

Fig. 8 Data statistics of edge detection

3.4.2 图像边界点确定

根据极大值分析得出的结果,获取图像 2 处极大值点的位置,进而判断为图像的边界位置。由图 8 d) 可判断两处位置为横坐标的 16 像素和 48 像素处。根据此位置给出图像缺口标线,如图 9 所示。

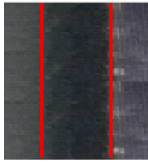


图 9 缺口标线

Fig. 9 Notch marking line

4 试验验证

4.1 功能验证

通过 MATLAB 仿真软件对算法进行仿真验证,选取大量缺口图像处理异常的图片,将图片投入到程序中,得出结果如图 10 所示。



a) 原图      b) 二值化图像      c) 形态学处理图像      d) 标记图像

图 10 仿真验证结果图

Fig. 10 Verification diagram of simulation results

由图 10 可知,将原始图像图 10 a) 经过二值化处理得到图 10 b),再经过图像形态学处理(见图 10 c))后,进行基于像素数量统计的边缘检测优化(见图 10 d)),可很好地将模糊图像进行边界检测。因此利用本文提出的算法,能够有效地检测到缺口边缘位置,算法具有有效性。

缺口检测系统的优化,能够减少因系统检测不准确原因而出现的缺口数据报警概率,有利于实现对转辙机缺口数值的精准检测,有利于列车的安全运营。

### 4.2 性能验证

为了进一步验证算法的性能,本文对青岛地铁 13 号线某站所检测的 600 张缺口图片进行了识别。通过人工校验,本文算法识别性能验证试验结果见表 1。

表 1 算法识别性能验证试验结果

Tab.1 Verification experiment results of algorithm recognition performance

算法类别	准确识别数/张	错误识别数/张	准确率/%
原有算法	563	37	93.83
本文算法	592	8	98.66

通过原有算法、本文算法与人工校验的比较结果,在原有算法下能够识别 563 张,准确率为 93.83%;在本文算法下能够识别 592 张,准确率为 98.66%。

综上所述,本文算法对缺口图像具有较好的识别性能,满足地铁现场实际运用的需要。

### 5 结语

为了减轻目前道岔转辙机缺口检测误差对工

作人员的工作负担,本文针对转辙机结构和缺口原理,基于 ZDJ9 转辙机的缺口检测系统,进行了算法优化。本文结合 Canny 算子和动态阈值的优势,提出基于像素数量统计的边缘检测算法,对缺口的识别更加准确,可对对现场真实缺口图像进行直接分析,得到缺口的实时数据,且对环境噪声具有良好的鲁棒性。

### 参考文献

[1] 杜森. 基于 B/S 架构的交互式增强现实教学辅助系统的研究与设计[D]. 青岛: 山东科技大学, 2019.  
DU Sen. Research and design of interactive augmented reality teaching assistant system based on B/S architecture[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2019.

[2] 中华人民共和国铁道部. 转辙机通用技术条件:TB/T 2614—2005[S]. 北京: 中国铁道出版社,2005.  
Ministry of Railways of the People's Republic of China. General technology conditions for point machines:TB/T 2614—2005[S]. Beijing: China Railway Publishing House,2005.

[3] 中国铁道百科全书总编辑委员会. 中国铁道百科全书: 通信与信号[M]. 北京: 中国铁道出版社,2003:535.  
Editorial Committee of China Railway Encyclopedia. China railway encyclopedia: communication and signal[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2003: 535.

[4] 徐红阳. 基于电力载波通信的铁路道岔缺口监测系统研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(3):1.  
XU Hongyang. Research on railway switch gap monitoring system based on power line carrier communication[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(3):1.

(收稿日期:2021-02-18)

(上接第 240 页)

[6] 高寒. 超大体量项目 BIM 竣工数字化交付应用[J]. 建筑经济, 2021, 42(增 2):83.  
GAO Han. BIM completion and digital delivery application for large scale projects[J]. Building Economy, 2021, 42(S2):83.

[7] 李珍. 基于工程项目数字化交付的文档管理[J]. 现代企业, 2019(3): 22.  
LI Zhen. Document management based on digital delivery of engineering projects[J]. Modern Enterprise, 2019(3): 22.

[8] 何志平, 冯国冠, 刘森. 城市轨道交通工程交付问题现状及对策研究[J]. 现代城市轨道交通, 2021(5): 111.  
HE Zhiping, FENG Guoguan, LIU Miao. Research on present situation and countermeasures of urban rail transit project commissioning[J]. Modern Urban Rail Transit, 2021(5): 111.

[9] 米皓. 轨道交通设计成果数字化交付方式研究[J]. 网络安

全技术与应用, 2022(3): 103.  
MI Hao. Research on digital delivery mode of rail transit design achievements[J]. Network Security Technology & Application, 2022(3): 103.

[10] 华叶飞. 国有企业资产交付管理问题研究: 以轨道交通资产为例[J]. 中国商论, 2020(11):80.  
HUA Yefei. Research on asset delivery management of state-owned enterprises—taking rail transit assets as an example[J]. China Business & Trade, 2020(11):80.

[11] 金字亮. 基于 BIM 的数字化交付管理体系在工程中的应用[J]. 建筑施工, 2021, 43(8):1633.  
JIN Yuliang. Application of digital delivery management system based on BIM in engineering[J]. Building Construction, 2021, 43(8):1633.

(收稿日期:2023-03-30)