

文章编号: 1005-0523(2017)02-0072-06

基于计算机视觉的钢轨扣件检测算法研究

刘馨, 穆颖, 张斌

(兰州工业学院电子信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 针对传统钢轨检测方法不能满足线路检修的需要, 提出了一种基于计算机视觉的钢轨扣件检测算法, 运用投影法和特定区域像素点扫描统计相结合的方法定位扣件位置, 使用灰度特征和 HOG 特征描述扣件特征向量, 并利用 Chi 开方距离分类器进行特征提取。实验结果表明, 该算法具有一定的有效性和可行性。

关键词: 计算机视觉; 钢轨扣件; HOG 特征; 最近邻分类器

中图分类号: U213.5 文献标志码: A

DOI: 10.16749/j.cnki.jecjtu.2017.02.010

目前我国铁路运输系统正在高速发展, 钢轨部件检测是基础设施检测中的一部分, 它对保证铁路安全运行起着重要的作用。钢轨扣件缺失是引起铁路交通事故的重要原因之一, 扣件缺失会加快车轮的磨耗, 形成钢轨表面各种缺陷, 同时也增加了脱轨的可能性。传统的人工检测法费时费力, 对测试人员的要求也较高, 而基于计算机视觉技术的无损检测法具有非接触、速度快等特点, 可以降低测试人员的劳动强度, 提高测量效率和测量精度^[1]。在钢轨维护方面, 全面普及自动化轨检设备是未来发展的方向。

我国轨检车视觉检测系统以引进美国 ImageMap 公司的 LaserailTM 系统为主^[2], 该系统的相关算法尚未对外公布。目前视觉钢轨扣件检测系统的核心图像处理算法是准确提取扣件特征, 在其特征提取算法的研究中, 文献[3]提出运用小波变换的方法定位扣件所在区域, 然后利用扣件特征结构进行扣件识别; 文献[4]根据颜色信息对新旧扣件进行检测; 文献[5]提出“十字交叉”法来定位扣件区域, Haar-like 矩形特征提取扣件特征, 利用 AdaBoost 算法的分类器实现扣件识别。以上算法都在噪声环境下对灰度图像进行处理, 但随着噪声加剧, 各算法在视觉扣件检测系统中处理的精度和速度难以达到要求。

本文针对已有研究成果的不足, 结合 Halcon 机器视觉软件提出一种可自动检测钢轨扣件的算法, 该算法基于投影法和长直线法确定钢轨和轨枕的交叉位置, 在该区域内进行像素点扫描统计判定扣件位置, 采用灰度特征和 HOG 特征相结合的方法来提取扣件特征, 然后通过基于 Chi 开方距离的最近邻分类器来实现扣件检测。实验结果表明该算法能自动识别扣件, 可为轨道检查提供一种快捷、有效的途径。

1 检测系统的组成

图 1 为视觉钢轨扣件检测系统示意图, 该系统由线阵相机、镜头、光源、激光传感器等构成^[6]。该系统可安装在轨检车底部, 随着轨检车运动的过程中, 线阵相机连续获取现场轨道及相关图像, 并由通信接口传输到上位机保存和分析使用。

收稿日期: 2016-10-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(61461023); 甘肃省教育厅高等学校第二批科研项目(2013B-096); 兰州工业学院青年科技创新项目(15K-009)

作者简介: 刘馨(1983—), 女, 讲师, 硕士, 研究方向为机器视觉, 图像处理技术。

本系统图像分析过程主要采用 Halcon 编程开发。该软件是德国 MVtec 公司开发的一套机器视觉集成开发软件,已广泛应用于工业生产的各个方面。整个图像处理算法主要分为 3 部分:首先采集图像并进行预处理,包括灰度化、去噪和分割,降低后续处理的复杂度;其次采用投影法和长直线法相结合进行扣件位置粗定位;通过分析钢轨扣件的灰度特征和 HOG 特征,结合基于 Chi 开方距离的最近邻分类器找到最优扣件;最后对钢轨图片中的扣件进行特征匹配,完成扣件检测过程。整个处理流程如图 2 所示。

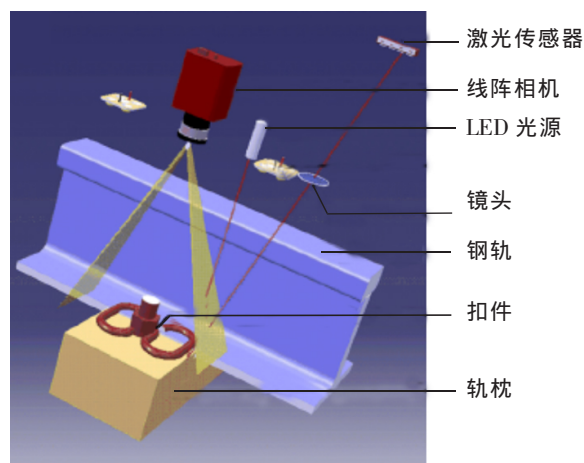


图 1 钢轨扣件检测系统结构图

Fig.1 The structure diagram of rail fastener detection system

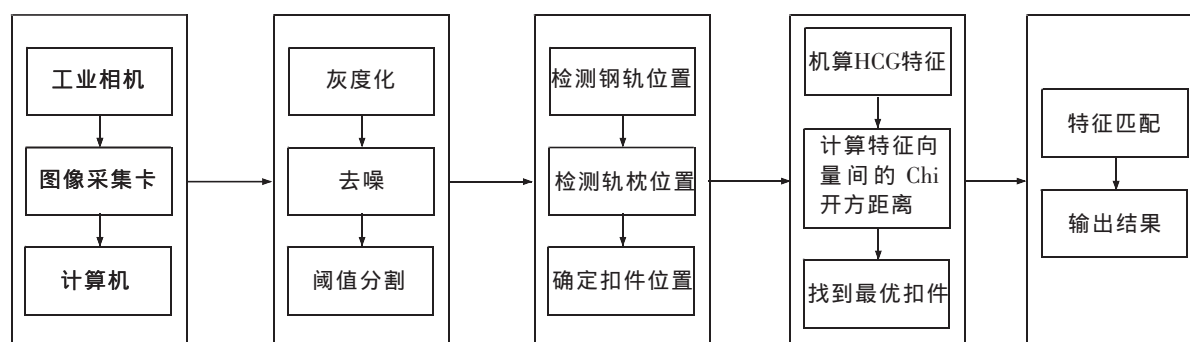


图 2 钢轨扣件检测系统流程图

Fig.2 The flow chart of rail fastener detection system

2 图像预处理

2.1 图像采集

图像采集主要是把真实图像转化为可以被计算机处理和储存的数字图像。该过程可用 2 种方式实现^[7]: ① 在 Halcon 软件中,通过 read_image 算子可从计算机文件中读取钢轨扣件图片;② 通过计算机连接工业相机,采用 open_framegrabber 和 grab_image 算子实时获取钢轨扣件图片。用工业相机获取图像时,相机的成像平面应尽量平行于被测对象平面,否则会产生较大的畸变,相机必须进行标定。采集到的钢轨扣件图像如图 3 所示。

2.2 预处理过程

由于使用的线性相机分辨率为 $4\ 096 \times 1$,每 2 000 行输出一幅图像,故相机采集到的图像宽度大于扣件所在部分,其中非扣件区域会影响处理机的处理速度。同时,考虑到图像中还有一定噪声,故预处理部分包括图像灰度化、去噪、图像分割。

2.2.1 图像灰度化

图像采集得到的图片是 RGB 彩色图像,为



图 3 钢轨扣件源图

Fig.3 Image of rail fastener

了后续图像处理,要将这些彩色图像转化为灰度图像。图像灰度化原理遵循

$$P_{\text{gray}}=0.299P_{\text{red}}+0.587P_{\text{green}}+0.114P_{\text{blue}} \quad (1)$$

其中: P_{gray} 表示灰度图像中像素的灰度值; P_{red} 表示彩色图像中红色分量; P_{green} 表示彩色图像中绿色分量; P_{blue} 表示彩色图像中蓝色分量。

2.2.2 去噪

在图像获取过程中,采集到的图像都含有噪声。在自然界中很多噪声都满足高斯分布,为了消除噪声,采用高斯滤波去噪算法来实现。这里采用了 3×3 的零均值高斯滤波算子^[8],如

$$L^3 = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中: L^3 表示一个的卷积模板(矩阵中的数值代表滤波权值),滤波的过程即为该模板与灰度图像进行卷积后输出平滑图像的过程。对灰度化后的图像进行高斯滤波,滤波后的结果如图4所示。

2.2.3 图像分割

从滤波后的图像中可以看出,目标扣件和背景图像在灰度特性上差异很大,因此可采用二值化处理来实现,即通过设定一阈值,当图像中一个像素的灰度值小于设定的阈值,就认为该像素是所需目标;反之属于背景区域。常用的阈值分割方法有基于点的全局阈值法、基于区域的全局阈值法、局部阈值法等,这里主要采用局部动态阈值法,即在每个局部邻域内取出满足公式(3)的像素点^[9]

$$f_i \geq f_0 + g \quad (3)$$

其中: f_i 为原始灰度图的像素值; f_0 为滤波后灰度图的像素点; g 为自定义的像素点偏移量。最优的像素点偏移量范围是 $5 \leq g \leq 30$,偏移量过大容易提取不到区域,反之又会让很多含有噪声的小区域被提取出来,因此这里选择 $g=12$ 。

3 钢轨扣件检测

3.1 扣件位置粗定位

由于采集到的图像中包含钢轨、扣件、轨枕等区域,除目标扣件外干扰因素太多,因此检测前需要先对扣件区域进行定位。在采集到的图像中轨道是亮度较高而且笔直的两条直线,轨枕垂直于钢轨,灰度变化在垂直方向上,而扣件对称分布在钢轨和轨枕交叉位置,因此在进行扣件检测之前,先找到钢轨和轨枕的边缘,确定好扣件的大致范围,之后在该范围内进行扣件检测。具体步骤如下:

- 1) 对图像分别进行水平方向和垂直方向上的投影,由于轨道的区域就是高亮区域,它会在灰度投影分布图中出现波峰效果,从而可检测出轨道的大致位置;
- 2) 投影之后,根据长直线检测法^[10]找到该区域内最长的两条长线段,即为轨道的左右边界;
- 3) 以轨枕宽度为区域宽度,在垂直投影上从左到右进行统计扫描,由于轨枕和扣件的区分度很大,把灰度化的图像进行阈值化处理(这里选取固定阈值为80),阈值化后图像只有0和1两个像素值,统计检测区域内像素值1的个数,当像素值1的个数大于9000的区域,判定为轨枕区域;
- 4) 根据先验知识提取扣件区域。



图4 灰度化和去噪后图像

Fig.4 Gray processing and denoising image

经上述实验分析可知,由于钢轨扣件总是排列在轨道的两侧,扣件之间的距离大致在 250~350 个像素之间,故可定位在区域内检测扣件。效果如图 5 所示。

3.2 扣件的 HOG 特征描述

仅根据灰度特性分割目标扣件存在一定的偏差,因此在灰度特性分析的基础上,还可通过分析梯度特性进一步确定扣件位置,HOG 特征可通过扣件区域的梯度和边缘特征得到扣件的形状信息,为下一步进行特征匹配提供依据。

计算 HOG 特征的过程如下:

1) 计算梯度值。钢轨扣件的大小基本为 100×100 ,因此输入图像的大小为 100×100 ,在将图像划分细胞单元时,每个细胞单元的大小设置为 100×100 。这里利用一维离散微分模板计算每个细胞单元的梯度,计算过程^[11]为

$$\begin{cases} G_x(x,y)=H(x+1,y)-H(x-1,y) \\ G_y(x,y)=H(x,y+1)-H(x,y-1) \end{cases} \quad (4)$$

式中: $G_x(x,y), G_y(x,y)$ 分别表示像素点 (x,y) 在水平方向和垂直方向上的梯度; $H(x,y)$ 表示像素点 (x,y) 的灰度值,其梯度幅值方向的计算公式如下

$$\begin{cases} G(x,y)=\sqrt{G_x(x,y)^2+G_y(x,y)^2} \\ a(x,y)=\tan^{-1}\left(\frac{G_y(x,y)}{G_x(x,y)}\right) \end{cases} \quad (5)$$

其中: $G(x,y)$ 表示像素点 (x,y) 的梯度大小; $a(x,y)$ 表示像素点 (x,y) 的梯度方向。

2) 统计每个像素点的梯度方向并对其进行加权投票,建立 9 维(将 $0 \sim \pi$ 分为 9 个方向)的梯度方向直方图。

3) 对区块进行归一化处理,将相邻的四个细胞单元合并成一个区块,具体方法是将每个维度的值除以向量的 L2 范数,即

$$V \rightarrow \frac{V}{\sqrt{\|V\|_2^2 + \xi}} \quad (6)$$

其中 V 是未归一化的向量; ξ 是一个很小的常数。

4) 将图像中所有细胞单元的 HOG 特征向量一起组合成一个大的 HOG 特征向量,就可以得到整个图像的 HOG 特征。

经 HOG 特征描述后获得一个扣件模板如图 6 所示。



图 5 扣件位置粗定位效果图

Fig.5 The result of fastener coarse positions

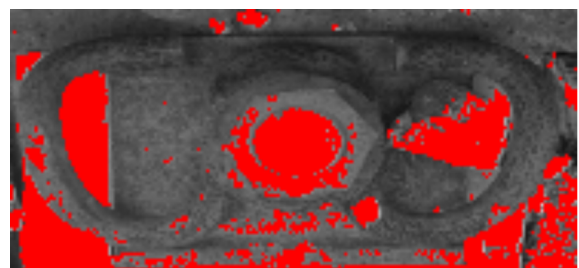


图 6 扣件模板

Fig.6 The fastener template

3.3 扣件的特征提取

经过对钢轨扣件的 HOG 特征描述后,得到了扣件的特征向量,接下来要在钢轨图像中找到一个与扣件模板特征最接近的区域,完成特征提取,本文主要采用 Chi 开方距离的最近邻算法作为扣件检测的分类器。

在扣件检测中最近邻算法的主要思想^[12]是:令样本集 $D^n = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,其中每一个样本 x_i 所属的类别已知。设测试样本点为 x ,设定一个最小距离的阈值,若样本与测试样本比较后的最小距离小于这个阈值,就

判定它是一个扣件。

用 Chi 开方距离计算直方图距离 Y

$$Y = \left| \frac{\omega_a - \omega_b}{\omega_a + \omega_b} \right| \quad (7)$$

其中: ω_a 为训练样本的特征向量; ω_b 为测试样本的特征向量。

4 实验结果

本系统开发是基于 Halcon 软件的实验系统,该系统在兰州西动车所进行了现场钢轨视频采集,钢轨扣件为弹条型扣件。随机抽取了 100 张图片运用本算法进行扣件检测,部分检测效果如图 7 所示。

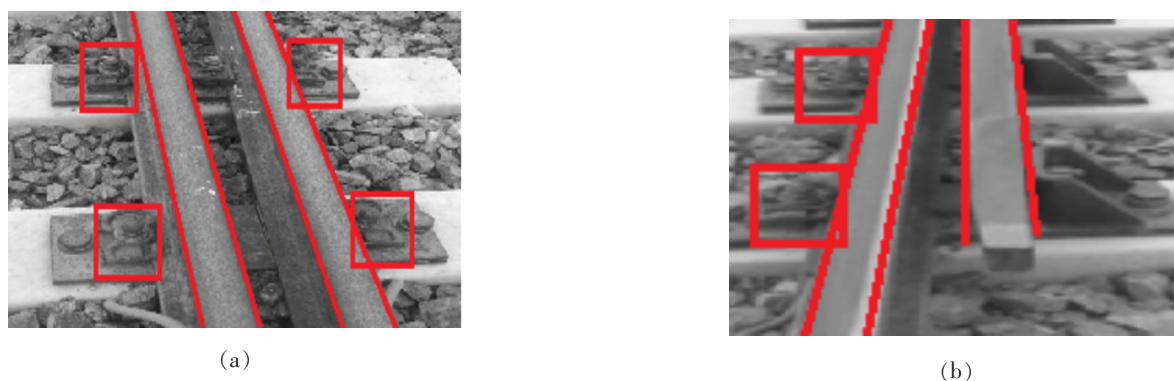


图 7 钢轨上扣件检测效果图
Fig.7 The result of rail fastener detection

通过实验计算了本算法的扣件检测准确率,如表 1 所示。

表 1 扣件检测数据表
Tab.1 The data of fastener detection

扣件位置	基于 Chi-开方距离的最近邻算法		粗定位后直接检测	
	扣件检测时间/(ms/张)	准确率/%	扣件检测时间/(ms/张)	准确率/%
左轨	547.31	92.23	639.92	79.89
右轨	550.98	92.59	641.32	80.10

通过上述实验结果可以看出,先经过钢轨和轨枕位置定位后再采用 Chi 开方距离的最近邻算法进行扣件检测,检测的准确度大幅提高,检测时间也缩短不少。

5 结论

本文提出了扣件位置粗定位和基于 Chi 开方距离的最近邻算法相结合的钢轨扣件检测算法,通过采集现场视频进行算法验证。实验结果表明,文中采用的算法能较好地提高扣件的检测效率。

文中目前只对慢速采集的钢轨视频进行了实验,对轨检车采集的高速视频来说,本算法的检测误差会增加;同时由于扣件位置粗定位中采用长直线检测法,对直线钢轨检测效果明显,而对有弯曲的钢轨检测结果存在一定误差,导致扣件位置定位出现偏差,将影响扣件检测结果。

参考文献:

- [1] 严健. 线路养护维修存在的问题及其解决办法[J]. 计中国铁路, 2004(11):15-19.
- [2] 黄建新. 图像处理在轨道检测中的应用研究[D]. 北京:北京交通大学, 2007.
- [3] HSIEH HY, CHEN NM, LIAO CL. Visual recognition system of elastic rail clips for mass rapid transit system[C]//Joint Rail Conference and Internal Combustion Engine Division Spring Technical Conference (JRC/ICE 2007), Pueblo, CO, USA, 2007:319-325.
- [4] MANEESHA S, SAMEER S, JAY J. Autonomous rail track inspection using vision based system[C]//CIHSPS 2006-IEEE International Conference on Computational Intelligence for Homeland Security and Personal Safety Alexandria, VA, USA, 2006:56-59.
- [5] 范宏. 基于图像的铁路扣件缺陷检测算法研究[D]. 重庆:西南交通大学, 2012.
- [6] 吴芳. 全视觉高速铁路扣件缺失系统软件设计及算法研究[D]. 上海:上海交通大学, 2013.
- [7] 朱先锋, 潘洪军. 基于 Halcon 的硒鼓缺陷检测与一维尺寸测量[J]. 吉林大学学报:信息科学版, 2014, 32(3):308-315.
- [8] 王文成. 基于 Halcon 的齿轮缺陷检测系统设计[J]. 机械传动, 2014:60-63.
- [9] 钱广春, 刘晖, 陶卫等. 基于相关直线法的高速运动目标快速探测方法[J]. 大连交通大学学报, 2011, 4(2):79-82.
- [10] MATAS J, GALAMBOS C, KITTLER J. Robust detection of lines using the progressive probabilistic hough transform[J]. Computer Vision and Image Understanding (CVIU), 2000, 78(1):119-137.
- [11] 马姍. 铁路扣件识别的研究[D]. 北京:北京交通大学, 2012.
- [12] 王凌, 张冰, 陈锡爱. 基于计算机视觉的钢轨扣件螺母缺失检测系统[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(12):4147-4150.

Research of Detection Algorithm for Rail Fastening Based on Computer Vision

Liu Xin, Mu Ying, Zhang Bin

(School of Electronic and Information Engineering, Lanzhou Institute of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: As the traditional rail detection method can no longer meet the railway maintenance requirements, an detection algorithm of rail fastening based on computer vision is proposed in this paper. The position of the fastener can be located by using the projection method and the method of scanning pixels and statistics of specific areas. The characteristics of fasteners are described by way of gray level features and HOG features, and the Chi square distance classifier is adopted to extract features. Results indicate that the algorithm shows certain validity and feasibility.

Key words: computer vision; rail fastening; HOG features; K-nearest neighbor classifier

(责任编辑 姜红贵)