

基于机器视觉测量技术的城市轨道交通 车辆门锁安全监测方法

顾 壹¹ 蒋书波¹ 缪小冬^{1,2}

(1. 南京工业大学电气工程与控制科学学院, 210009, 南京; 2. 康尼机电股份有限公司, 210009, 南京//第一作者, 硕士研究生)

摘 要 针对城市轨道交通车辆车门中的丝杆锁闭装置长期受到往复冲击和磨损而传统方法难以有效监测的问题, 提出了一种基于机器视觉测量技术的监测方法。在机械旋转机构上进行标记, 采用圆点标记和直线段标记, 分别对圆点和线段进行检测, 计算出旋转偏离角度值; 对摄像头采集到的轨道车门锁旋转机构图片, 通过离散余弦法进行图像预处理, 利用阈值分割进行图像二值化, 然后对特征标记进行捕获, 从而获得角度信息; 采用数据统计分析方法, 进行门锁安全的判断和预测。试验结果表明, 圆点标记比线段标记更易检测, 角度值更加精确。

关键词 城市轨道交通; 车门; 锁闭机构; 机器视觉测量

中图分类号 U270.38+6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.08.040

Safety Monitoring of Urban Rail Transit Train Door Lock Based on Embedded Vision Tech- nology

GU Yi, JIANG Shubo, MIAO Xiaodong

Abstract Since the traditional method could not effectively monitor the screw locking device of urban rail transit door lock because of long-term reciprocating impact, a new monitoring method based on machine vision measurement is proposed. Firstly, the screw locking device is marked with a red dot and a red line, which will be detected respectively to calculate the angle of rotation deviation. Secondly, the images of screw locking device collected by camera are pre-treated by DCT (discrete cosine transformation), the threshold segmentation is used to gain binary images, then to calculate the angle information by capturing the featured marks. Finally, the statistical data analysis method is used to judge and predict the train door lock safety. Experimental results show that the dot marks are detected easier than line marks in collecting more accurate angle information.

Key words urban rail transit; door; locking device; machine vision measurement

First-author's address College of Electrical Engineering

and Control Science, Nanjing University of Technology, 210009, Nanjing, China

近些年,随着城市基础设施的大规模建设,城市轨道交通已经成为不可或缺的交通工具,因此,对列车的安全提出了更高的要求。

据车辆运用维护部门统计,在车门检修中,查找故障的时间占总检修时间的60%左右^[1]。为了能够更加快速、精准地找到故障位置,缩减检查人员的劳动时间,更加合理地对车门做出评价,有必要深入研究车门故障原因、车门故障诊断技术等。

通过对城市轨道交通车辆设备的研究发现,需要在不影响正常工作的情况下,对门锁工作状态进行监测并诊断故障。为此,设计了一套以视觉测量为核心的嵌入式装置,采用计算机视觉技术对车门锁闭机构进行智能监测。在嵌入式视觉监测装置中采用非接触式的摄像头传感器,可以有效观察锁闭机构的运动状态,判断车门锁闭装置的可靠性。

1 嵌入式视觉监测装置

1.1 基础塞拉门结构

选取塞拉门为研究对象,针对塞拉门锁闭机构的锁销和撞块两个部件进行在线监测与分析。图1为塞拉门结构图。通常将子部件按照系统功能分为六个子系统,包括承载导向装置、驱动锁闭装置、控制装置、门板装置、内外操作装置和基础部件^[2]。

整个塞拉门系统被固定在车厢的安装架上,车门正中间是一个长导柱,确保了车门在开关过程中能够在垂直于车厢的平面上运动。同时在旋转丝杆的下方,左右门扇各有一个导轨,这个导轨确保了车门能够在开关门动作时按照指定的塞拉行程运动。整个车门的开关门运动都是由电子门控器EDCU控制,电机在工作的时候会将电流信号、转速

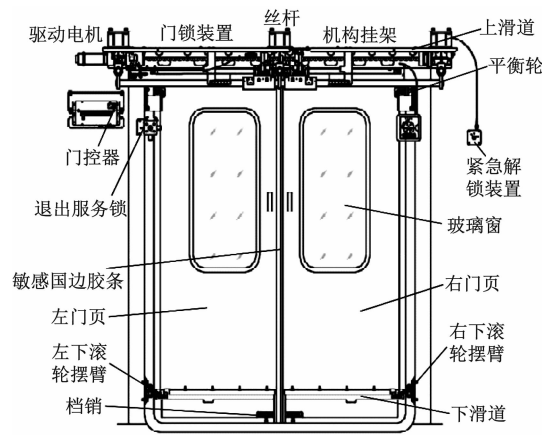


图1 车辆塞拉门系统示意图

值等传输给门控器^[3]。由于车门长时间运行后,车门锁闭机构的零部件开始老化,机械故障频发,单靠从电机采集的数据已经不能够正确反映车门关门是否正常^[4]。因此,提出了采用非接触式摄像头传感器,在线监测车门锁闭机构。

1.2 在线采集的嵌入式监测装置

在线采集的嵌入式监测装置硬件结构如图2,其芯片为Broadcom BCM 2836,配备Video Core IV双核GPU,GPU支持OpenGL ES 2.0,OpenVG硬件加速,1080p30H. 264 高清解码,1GB 内存,4个USB 2.0 接口,采用USB 接口供电,有摄像头接口,LCD 接口,尺寸为85 mm×56 mm×17 mm。该图像采集传感器为30 万象素,采用USB 接口,符合Video for Linux(简称V4L 标准),辅助灯光采用LED 贴片,将LED 接到主板的输入输出引脚,通过高低电频进行控制。

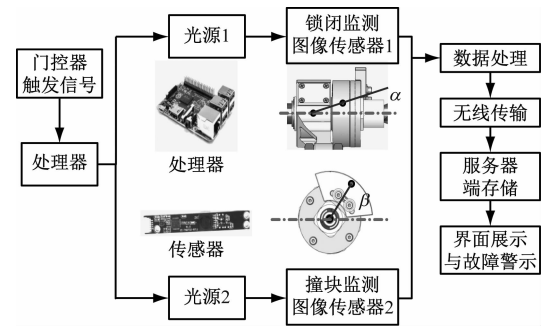


图2 在线采集的嵌入式监测装置

在线采集的嵌入式监测装置通过门控制串口采集关门信号,当关门时开启摄像头进行视频拍摄,接收到关到位信号时结束拍摄,将拍摄的视频和图像保存到本地,经过对图像的处理与分析,将得到的撞块与锁销的转动数据通过TCP\IP 协议发

送到服务器。

2 检测算法

2.1 参数标定

摄像机将三维空间的实体变成二维图像,为了得到一幅图像的三维几何信息,需要对相机进行标定^[5]。采用平面标定方法,即利用一个标准参照物与相应图像对应的约束关系来求解摄像机参数。标定结果如表1 所示。

表1 标定参数验证结果

序号	实际坐标/mm		计算坐标/mm		绝对误差/mm	
	x	y	x ₁	y ₁	Δx	Δy
1	-3	15	-3.11	14.52	0.11	0.48
2	0	15	0.09	14.61	0.09	0.39
3	3	15	2.88	15.37	0.12	0.37
4	-3	25	-3.18	26.32	0.18	1.32
5	0	25	-0.14	26.57	0.14	1.57
6	3	40	3.32	42.51	0.32	2.51

根据表1 中的数值可以得出,实际的坐标值与计算得出的坐标值存在着一定的误差,两者之间的绝对误差主要是由透视成像效果所引起。当成像距离不断加长时,实际增加的物理距离所对应的像素点数反而减少,因此在像素误差比例相同的情况下,距离越远,误差越大。另外,由于采用的是商业镜头,所以存在镜头畸变的现象,使摄像机标定时,坐标对应变化有一定的非线性。

2.2 基于离散余弦信息的光斑检测

采用离散余弦变换的方法对带有圆形光斑的图像进行压缩处理,提取圆形光斑的特征信息和位置信息。包括如下步骤:

步骤1:对原始采集图像进行预处理,主要有以下子步骤:

- 1) 对原始图像灰度化,得到灰度图像。
- 2) 把灰度图像带入离散余弦变换公式从而得到相位和幅值信息。
- 3) 滤波已经得到的相位信息,求出滤波前后的相位信息差值。
- 4) 由灰度图像处理得到的幅值信息和③得到的相位差值进行逆离散变换,得到预处理图像。

步骤2:对预处理图像进行二值化计算,具体包括如下子步骤:

- 1) 设灰度图像灰度级是L,则灰度范围为[0,L-1],图像的最佳阈值为:

$$g = \max[w_0(t) \cdot (u_0(t) - u)^2 +$$

$$w_1(t) \cdot (u_1(t) - u)^2] \quad (1)$$

式中:

w_0 ——前景像素点;

w_1 ——背景像素点;

u_0 ——前景像素点的平均灰度值;

u_1 ——背景像素点的平均灰度值;

t ——分割阈值。

此方法属于最大间类方差法。

当 g 最大时,此时分割阈值 t 就是最佳分割阈值;

2) 采用最佳阈值分割预处理图像,得到二值图像。

3) 对步骤2)处理后得到的二值图像进行边缘检测。通过对于二值图像的遍历,在发现像素值变化的地方即为图像边缘。

4) 对边缘检测后的图像进行质心计算,公式如下:

零阶矩阵公式为

$$M_{00} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i,j) \quad (2)$$

一阶矩阵公式为

$$\begin{cases} M_{10} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N i \cdot V(i,j) \\ M_{01} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N j \cdot V(i,j) \end{cases} \quad (3)$$

式中:

i, j ——均为图像的坐标值,

V ——图像的像素值;

M, N ——图像的长、宽。

则图像的质心坐标为:

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}} \quad (4)$$

$$y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (5)$$

在对图像进行边缘检测、计算质心后,在原始图像中标示出颜色光斑的形状和位置。如图3,边缘检测的结果就是标记物的形状,同时质心坐标值就是标记物的坐标。

2.3 基于骨架霍夫变换的线段检测

采用基于骨架化的直线检测和角度计算方法,包括如下步骤:

首先,通过阈值分割,计算得到目标区域,然后通过对于颜色的分割将直线标签所在的前景与其

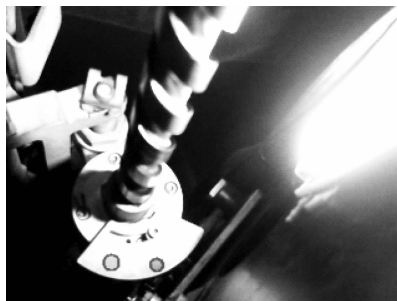


图3 圆标签检测图

余机械部件所在的背景锁分离。

然后采用基于最大圆盘的形态学骨架抽取算法来获取直线标签的骨架形态。所谓的最大圆盘是指在图像中取一些圆,这些圆必须满足三点要求:① 这些圆必须被图像所包容,不能超出图像的范围;② 最大圆盘上至少有两个点要与图像的边界相切;③ 这些圆必须是图像中能勾勒出来的最大的圆,不能够被其他圆完全地包容。

按照上述条件求取图像骨架时,可以采取以下做法:第一,图像要缓慢的逐步缩小;第二,在整个缩小的过程中,图像的欧拉数应该保持不变。以下是应用数学概念来表达骨架求解过程。

对于 $n=0, 1, 2, \dots$, 定义骨架子集 $\text{Skel}(S; n)$ 为图像 S 内所有最大圆盘 n_0 的圆心 x 构成的集合。从骨架的定义可知,骨架是所有骨架子集的并:

$$\text{Skel}(S) = \bigcup \{ \text{Skel}(S; n) : n = 0, 1, 2, \dots \} \quad (6)$$

设 x 为欧氏空间 E^2 上的集合, x 的骨架记为 $s(x)$, $s_r(x)$ 为骨架 $s(x)$ 的子集,即 $s_r(x)$ 对应于 x 的最大内切圆半径为 r 的骨架,则数学形态学对骨架的描述为:

$$S(X) = \bigcup_{r \geq 0} S_r(X) = \bigcup_{r \geq 0} \left[(X \ominus rB) - ((X \ominus rB) \circ drB) \right] \quad (7)$$

式中:

rB ——以 r 为半径的圆;

drB ——具有微小半径值 dr 的圆。

欧氏网格空间 Z^2 中,圆 drB 可近似认为是一个小的结构元素 B 。圆 rB 则近似地认为是有离散半径 n 的圆 nB : $nB = B \oplus B \oplus \dots \oplus B$ (n 次)。

得到二值化目标的骨架数据后,再采用霍夫直线拟合方法得到直线的角度,结果如图4所示。

3 实际测试

图5为嵌入式视觉监测装置整体测试方案,包含关门信号触发处理和故障信息分析并传送^[6]。



图 4 直线标签检测结果图

首先由车门控制器读取关门触发信号,启动摄像头采集图像,所有的视频数据和图像数据都保存在本地 SD 卡中。装置读取图像数据进行特征检测处理,得到角度数据,通过无线通信模块发送给服务器^[7]。

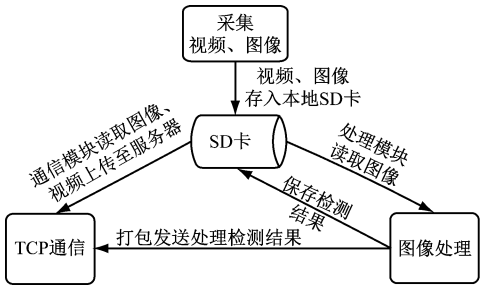


图 5 嵌入式视觉监测装置功能图

圆点光斑检测和直线检测均能达到检测结果,但是通过实际台架测试 100 组数据得知直线检测容易受到噪声的影响,标准差比较大,而圆点光斑检测的结果要相对稳定。

由于实际的测试是针对对称同步的驱动丝杆进行的,因此,圆标签检测和直线段检测可以相互校核。圆标签的角度检测误差大约在 $\pm 0.9^{\circ}$ 之间,直线的角度检测误差在 $\pm 1.5^{\circ}$ 之间,因此直线检测的误差要略大,但也能够满足实际要求(如表 2 所示)。

4 结语

采用嵌入式机器视觉监测装置对反复旋转门

表 2 圆点标记和直线段标记检测结果对比

序号	初始化	圆点检测		直线段检测	
	角度/(°)	角度/(°)	误差/(°)	角度/(°)	误差/(°)
1	61.530 0	61.548 9	0.018 9	61.647 9	0.117 9
2	61.530 0	61.598 6	0.068 6	61.567 2	0.037 2
3	61.530 0	61.582 3	0.052 3	61.619 8	0.089 8
4	61.530 0	61.584 7	0.054 7	61.564 3	0.034 3
5	61.530 0	61.581 4	0.051 4	61.685 3	0.155 3
6	61.530 0	61.566 9	0.036 9	61.577 8	0.047 8
7	61.530 0	61.617 8	0.087 8	61.676 9	0.146 9
8	61.530 0	61.590 2	0.060 2	61.598 2	0.068 2
9	61.530 0	61.563 8	0.033 8	61.622 7	0.092 7
10	61.530 0	61.540 9	0.010 9	61.570 1	0.040 1

锁机构进行了检测和分析,设计了一套基于 ARM 和 Linux 的圆标签和直线段检测方法,通过实际测试验证了其有效性,得到以下结论:

- 1)采用圆点检测相对于直线段标签检测准确度要高;
- 2)采用非接触光学检测方法,实施便捷、成本低。
- 3)通过机器视觉监测装置检测到了锁销进入锁闭槽的回弹现象,与仿真数据基本吻合。

参考文献

[1] 谢志平. 广州地铁 4 号线塞拉门的故障与检修[J]. 现代城市轨道交通,2009(3):55.

[2] 刘光武,蔡昌俊,陈刚,等. 基于故障树和模糊推理 petri 网的塞拉门系统可靠性分析[J]. 机械制造与自动化,2015(3):1469.

[3] 余江. 地铁车辆关键系统可靠性分析及应用研究[D]. 北京:北京交通大学,2012.

[4] 曾世文. 城市轨道交通车辆塞拉门关门性能研究[D]. 南京:南京理工大学,2011.

[5] 徐官南,夏庆观,张中辉. 视觉机器人目标检测分析[J]. 现代制造,2015(30):128.

[6] 高文明,王爱青,张大磊,等. 轨道交通车辆门远程监测车载网关的设计与实现[J]. 机械设计与制造工程,2016(9):39.

[7] 郭进,张秀彬. 基于图像识别技术的站台屏蔽门智能控制系统[J]. 微型电脑应用,2011,27(3):26.

(收稿日期:2017-10-05)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. com