DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2021.09.016

基于改进 Canny 算法的起重机下挠度 测量方法研究*

张 柏¹,苑 哲 源¹,颜 丙 生^{1*},杨 明 超²,李 莎¹
(1.河南工业大学 机电工程学院,河南 郑州 450001;
2.广东省特种设备检测研究院 珠海检测院,广东 珠海 519000)

摘要:现有的门式起重机主梁下挠度的测量方法存在着不够安全、便捷和经济的问题,针对这一问题,提出了一种基于改进的 Canny 边缘检测算法的机器视觉测量方法。首先,获取了起重机在加载额定载荷前后主梁的形态图像,并对图像进行了剪切分割等预处 理;然后,利用改进的 Canny 算法对预处理后图像中的主梁跨中部位进行了边缘特征提取,并通过测量所提取边缘在图像中的相对 位移,根据比例换算得到了起重机实际下挠度值;最后,通过 LabVIEW 平台开发了一套基于该方法的起重机下挠度测量系统,测试 验证结果表明:在多种工况环境下,该系统都能准确地识别并提取出起重机主梁的边缘特征,且计算的下挠度值误差在 0.5% 之内。研究结果表明:该测量方法可以满足起重机械下挠度的工程测量要求,为起重机检测工程应用提供了一种可靠的测量方法。 关键词:下挠度测量;机器视觉;Canny 算法;图像处理

中图分类号:TH213.5;TP391.4 文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2021)09-1191-06

Crane deflection measurement method based on improved Canny algorithm

ZHANG Bai¹, YUAN Zhe-yuan¹, YAN Bing-sheng¹, YANG Ming-chao², LI Sha¹

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;2. Zhuhai Branch, Guangdong Institute of Special Equipment Inspection and Research, Zhuhai 519000, China)

Abstract: Aiming at the problem that the existing measurement method of main girder deflection of gantry crane was not safe, convenient and economical, a machine vision measurement method based on improved Canny edge detection algorithm was proposed. Firstly, the shape images of the main girder before and after loading the rated load of the crane were obtained, and the images were preprocessed by cutting and segmentation. Then, the improved Canny algorithm was used to extract the edge features from the mid-span of the main girder after preprocessing. By measuring the relative displacement of the extracted edge in the image, the actual lower deflection value of the crane was obtained according to the scale conversion. Finally, a crane lower deflection measurement system based on this method was developed on Lab-VIEW platform. The test results show that the system can accurately identify and extract the target edge features of the main girder of the crane under various working conditions, and the error of the calculated lower deflection value is within 0.5%. The research results show that the measurements of the engineering measurement of the lower deflection of lifting machinery, and provides a reliable method for crane inspection engineering application.

Key words: lower deflection measurement; machine vision; Canny algorithm; image processing

收稿日期:2021-01-31

基金项目:国家自然科学基金资助项目(U1604134);国家级大学生创新创业资助项目(202010463036);河南省科技攻关资助项目 (212102210327)

作者简介:张柏(1996-),男,河南固始人,硕士研究生,主要从事动态测试与机械故障诊断方面的研究。E-mail:zhangbai@dingtalk.com 通信联系人:颜丙生,男,博士,副教授,硕士生导师。E-mail;vanbingsheng@163.com

0 引 言

随着我国经济的发展,起重机械在工业、交通、能 源等各个领域的应用愈加广泛,起重机械数量也在不 断地增加。

《中华人民共和国特种设备安全法》规定,每台起 重机械在投入使用前都要进行监检(或首检),使用期间 也要定期检修^[1]。其中,由于起重机主梁下挠度对其主 梁结构和承载能力、行车安全等均有重要影响,额定载 荷下起重机主梁下挠度测量是检测中的重要项目。

目前,国内外行业内常采用悬线法、标尺法等主要 依靠技术人员手动操作的测量方法,这些方法需要技术 人员爬上起重机主梁布置悬线或标尺,操作过程危险且 繁琐。另外,行业内新兴的使用经纬仪或水平仪等测量 下挠度的方法,需要将测量设备置于起重机主梁正下 方,虽然测量精度上较悬线法、标尺法等有所提高,但操 作过程依然具有一定的不安全因素,操作方法也相对复 杂且受外界的影响较大。加之起重机在这项检验中所 需费的用昂贵^[2],所以,提出并建立一种安全、快捷、准 确且经济的起重机主梁下挠度方法,具有重要意义。

近年来,机器视觉成为工业检测的研究热点^[3]。 利用机器视觉代替人工视觉,对目标进行识别、检测和 测量^[4],不仅能在不适合人工操作的复杂、危险环境 中进行作业,还能极大提高生产效率和自动化程度。 由于在测量起重机下挠度的过程中,其主梁形态会随 着下挠度值的改变而改变,若通过图像处理对主梁形 态边缘进行提取分析,基于机器视觉的测量方法将具 有可行性。

当前,基于 Canny 边缘检测算法的机器视觉检测 已广泛应用于边界识别测量等工业检测领域。但 Canny 边缘检测算法需有适应性地改进和优化,才能 满足不同工业测量环境下的使用需求。张洪等^[5]利 用改进 Canny 算法搜索了密封圈的毛刺。吴房胜等^[6] 利用改进 Canny 算子检测了焊缝的边缘。黎浩等^[7]对 Canny 算法进行了阈值优化,以检测带钢表面缺陷。

若将 Canny 算法运用于机器视觉测量起重机下挠 度中,在实际工况环境下,会存在着过滤掉一些有用的 重要孤立边缘和弱边缘的问题,因此,也有必要对该算 法进行适应性的改进与优化。

本研究提出基于机器视觉测量起重机下挠度的方法,针对在图像处理过程中 Canny 边缘检测算法在实际工况下存在的问题,对 Canny 算法进行改进,利用 LabVIEW 平台开发一套起重机下挠度测量系统,并进行测试检测。

1 视觉检测原理

1.1 下挠度机器视觉测量方法

起重机主梁下挠度是指在额定载荷下主梁跨中部 位较空载时的位置向下位移的距离。

笔者采用机器视觉的方法测量下挠度,需先在主梁 跨中部位用一激光点进行标记,作为不动点参考;对起 重机空载时和加载额定载荷时各拍摄一张图像,利用开 发的软件测量出两幅图像中激光点与主梁下边缘的距 离后,计算两次距离的差值的绝对值即为所求下挠度。

测量方法示意图如图1所示。



由图1可知,相对位移即下挠度值L为:

 $L = l_2 - l_1 \tag{1}$

式中:*l*₁—加载前起重机主梁下边缘距离激光标记点 距离;*l*₂—加载后起重机主梁下边缘距离激光标记点 距离。

在系统中,则需要通过改进的 Canny 边缘检测算 法对激光点和起重机下边缘进行边缘检测提取,而后 将图像中的相对位移测量出来,根据主梁上如腹板、型 钢等已知尺寸的部位在图像中的像素宽度与实际宽度 的比值得到换算比例,进而计算出实际的下挠度值。

1.2 Canny 边缘检测算法

Canny 边缘检测算法是一种定位精度高、抗噪性 能好的单像素边缘计算方法^{[8]284}。该算法分为高斯滤 波、计算梯度、非极大抑制和双阈值处理4个步骤^[9]:

(1)高斯平滑滤波器卷积降噪

将图像与高斯函数做卷积以提高算法的抗噪能力 (高斯滤波是一种低通加权均值滤波,即将一个模板 内的所有像素点的灰度值求加权平均值^[10]),然后将 该值赋给模板内的中心像素点。

高斯滤波器的卷积核为:

$$\frac{1}{N} \begin{bmatrix} a & b & c \\ b & x & b \\ c & d & a \end{bmatrix}$$
(2)

(2)图像梯度方向和强度的计算

由于灰度化图像可以看作是一个二元函数 $I_{(x,y)}$, 函数值表示坐标(x,y)上像素点的灰度值。当搜索该 图像的边缘时,需要对各像素点及其附近的像素点灰 度值进行梯度强度和方向的计算。Canny 边缘检测算 法中进行梯度计算时可选用 Roberts、Prewitt 和 Sobel 等梯度算子。

如图像I与 Sobel 算子进行梯度的卷积运算,其结果 G_x 、 G_y 可分别表示为:

$$\boldsymbol{G}_{x} = \boldsymbol{I} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \boldsymbol{G}_{y} = \boldsymbol{I} \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$
(3)

则有中心像素处的梯度方向角 θ 和像素梯度幅值 *G* 如下:

$$\boldsymbol{G} = \sqrt{\boldsymbol{G}_x^2 + \boldsymbol{G}_y^2}, \boldsymbol{\theta} = \tan^{-1} \frac{\boldsymbol{G}_y}{\boldsymbol{G}_x}$$
(4)

其中:近似计算时梯度方向可认为是0°、45°、90°、 135°4个方向之一。

(3)沿梯度方向的梯度幅值非极大值抑制

若计算得到的像素梯度值是沿着梯度方向的最大 值时,说明该像素点是边缘像素点,否则是伪边缘点。 Canny边缘检测算法中的非极大值抑制过程实现了该 判定,当像素梯度幅值是沿着梯度方向的极大值时,保 留该像素值,或设置为一设定的固定灰度值(如70); 否则记其值为0,对该非极大值进行抑制。

(4) 双阈值边缘二值化

双阈值边缘二值化,是先设定高、低两个阈值,当 需要判定的边缘像素点的像素值高于高阈值时该点保 留,低于低阈值时该点舍弃;当像素值处于高低阈值之 间时,仅当该点与一高于高阈值的像素点相连接时才 会被保留。这样可以滤除一些由其他原因造成的伪边 缘,更为准确、有效地确定待测图像边缘。

2 改进算法流程的 Canny 边缘检测算法

2.1 算法改进原理

Canny 边缘检测算法先通过高斯平滑滤波^[11]高效地去除待测图片中的噪声,而后经图像梯度方向和强度计算找到可能的边缘点,再通过非极大值抑制和双阈值边缘二值化去除伪边缘点和虚假边缘。

虽然高斯平滑滤波能够有效地去除噪声,但这不可避免地会减弱图像的边缘信息^[12],特别是一些孤立

边缘和不明显的弱边缘。这些减弱后的边缘信息会在 Canny 算法后续处理中被过滤掉^[13],这对以后的特征 分析和测量计算不利。

门式起重机工作场合环境复杂,如室内时常伴随 着粉尘、光污染,室外时常伴随着阴雨、大雾天气,这些 工况环境使得门式起重机成像质量差,一些具有参考 价值的边缘会因对比度不佳等因素被弱化,最后被 Canny 边缘检测算法忽略。

为解决以上问题,可以根据原有 Canny 边缘检测 算法流程,在高斯平滑滤波之前增加可调节的图像灰 度变换和图像二值化过程。图像灰度变换的主要作用 是调整图像亮度、增强图像对比度和压缩扩展图像高 低灰度,以突出图像中的重要信息^{[8]260}(即图像边 界),以便于以后的图像特征分析和计算机测量计算。

其具体实现过程为:设输入图像为函数 Src,输出 图像为函数 Dst,灰度变换函数为 GST,有:

 $D(x,y) = GST(b,c,g) \cdot Src(x,y)$ (5) 式中:x—图像中像素点横坐标;y—图像中像素点纵坐 标;b—亮度值;c—对比度值;g—伽马值。

当图像中像素点坐标(x,y)确定时,由二元函数 Src (x,y)、Dst(x,y)既可确定输入、输出图像中像素点的像 素值;而三元函数 GST(b,c,g)是由亮度 b(brightness)、 对比度 c(contract)和伽马变换 g 3 个变量决定的,当变 量 b、c 和 g 确定时,变换函数 GST(b,c,g)的值确定。

显然,该过程能够对图像中高低灰度进行压缩或 扩展,但不会改变图像中像素点之间的位置关系。图 像二值化过程是通过将像素点灰度值与设定的阈值进 行对比判断,将图像中边界与非边界区域明显区分开 来^[14]。改进的算法流程的 Canny 算法步骤如下:

(1)可调节的灰度变换;

(2)图像二值化;

(3)高斯平滑滤波降噪;

(4)计算图像梯度强度和方向;

(5) 非极大值抑制;

(6) 双阈值边缘二值化;

(7)判断所得边缘二值化图像是否理想,不理想 需重复步骤(1)操作。

在系统中通过当前所显示的图像的二值化边缘效 果,实时动态调节图像灰度参数以保持和增强那些重 要的弱边缘和孤立边缘,而后进行一次 Canny 边缘检 测算法,循环数次,直至显示的二值化边缘图像达到预 期,能够顺利进行后续的特征分析为止。

2.2 改进算法测试

为测试改进后算法的可行性,笔者在实验室中搭

建了模拟起重机测量平台。针对在模拟粉尘工况下所 截取的模拟起重机主梁的一部分图像,利用改进前和 改进后 Canny 算法检测边缘,检测结果如图 2 所示。



由图 2 可以看出:由于粉尘环境下模拟主梁边界 是弱边缘,不够清晰,利用改进前的 Canny 边缘检测算 法得到的二值化边缘图像相对应部分很模糊,甚至未 检测到边缘;通过改进算法流程的 Canny 边缘检测算 法得到的二值化图像比使用常规 Canny 算法所得到的 图像要清晰,包括弱边缘在内的边缘特征更加明显,证 明该改进算法能够达到预期效果,具有可行性。

3 测量系统

3.1 测量系统硬件

测量系统硬件部分的主要功能是实现门式起重机 在为测量下挠度而加载额定载荷前后形态的拍摄和数 据传输。该部分所需要的硬件主要包括:三脚架、高清 摄像头、激光定位器和计算机。

实物图如图3所示(其中,激光定位器单独放置)。



图 3 测量系统硬件组装结构实物图

在硬件选择方面,要求三脚架能够固定摄像头,并 能够在一定范围内调节摄像头空间位置,使其能够准 确、稳定地获取到门式起重机的形态图像。高清摄像 头选用的型号为 Gsou 极速 A20。

激光定位器选用红点式激光定位器,该定位器使 用方便、不占用空间、可定位距离远,在各种光源环境 下的定位斑点清晰、形态特征好。

3.2 测量系统软件

测量系统的软件部分主要是对硬件部分进行控制,并将由摄像头获取的目的图像进行图像处理和测

量计算。笔者基于 NI 公司的 LabVIEW 平台开发了一 套起重机主梁下挠度值测量系统。

3.2.1 软件总体流程

系统软件的核心是程序。该程序部分分为:图像获 取存储模块、图像特征提取模块、图像特征测量模块和 计算模块4部分。其中,图像特征提取模块中包含图像 重点区域剪切和改进算法流程的 Canny 边缘检测。

具体程序流程图如图4所示。



3.2.2 图像重点部分剪切

在对获得的图像进行可控的 Canny 边缘检测之前,为了避免程序对整幅图像无差别处理,需要先对图像进行剪切。

剪切程序段如图5所示。



图 5 图像剪切模块

通过"IMAQ Extract2. vi"将图像上所需处理的重 点部分剪切下来,利用生产者消费者队列结构送入下 一模块,这样既避免了后续模块对无关部分图像的处 理,又降低了图像所占用的内存,可极大地提高程序的 处理效率。

3.2.3 改进算法流程的 Canny 边缘检测

图像处理模块如图6所示。

由生产者消费者队列中输出的重要部分图像数据,经过默认灰度变换函数"IMAQ BGCLookkup.vi"、



图像二值化函数"IMAQ Threshold.vi"和已设定初始值的 Canny 边缘检测函数"IMAQ CannyEdgeDetection.vi"后,在前面板上显示出默认处理的效果;

操作人员可根据默认处理的效果,在前面板上调 节灰度变换中的"Brightness"、"Contrast"和"Gamma" 值,根据实时反馈的处理效果图像以确定最佳的二值 化边缘图像。这里对 Canny 预设高斯滤波上阈值为 0.7,下阈值为0.2。处理后的边缘二值化图像将保存 至指定文件夹。

3.2.4 像素距离测量

通过预设参数和测量显示方式的"IMAQ Clamp Vertical Max.vi",可根据鼠标划定的矩形范围内测量 两边界之间的像素距离。

该段程序如图7所示。





这里主要是测量处理得到的二值化边缘图像中激 光点至起重机主梁下边缘的像素距离,及图中主梁腹 板的像素距离;再根据测量得到的像素距离和输入的 主梁腹板实际宽度值,通过比例换算便可计算出目的 下挠度值。

4 系统测试

4.1 视觉系统校准

采集到的数字图像中包含着机器视觉系统所需要 的信息,且这些信息是以像素形式存在的。若实现系 统软件对图像的准确处理与测量,就必须让视觉系统 使用真实世界的坐标系和测量单位^[15,16]。因此,要事 先得到相机图像像素坐标和真实世界坐标系之间的映 射关系,才能使得最后得到的结果正确。

利用软件中的校准模块,能够快速地得到摄像机

中的畸变参数,以确定相机坐标系与真实世界坐标系的映射关系。笔者选择圆心距为12 mm的校准点阵为校准过程提供输入,校准系统将根据由相机采集到的校准点阵图像,根据最小二乘法确定畸变模型参数,以完成校准过程,实现坐标系统一。

此外,由于起重机主梁下挠度值只是主梁中轴线 在竖直方向上的位移,没有第二方向的坐标转换,只需 要根据所测起重机主梁腹板在竖直方向的实际宽度值 与采集到的图像中相应像素尺寸进行比例换算,就可 完成该步校准,获得统一的测量单位。

4.2 实际测试

在某起重机装载卸载工地,笔者进行了起重机主 梁下挠度测量的实际测试,通过系统前面板获取起重 机加载额定载荷主梁形态图像后,截取重点测量部分 的图像区域。

起重机加载前重点部分图像处理界面如图8所示。



图 8 起重机加载前重点部分图像处理界面

在图像处理界面,需要在控制面板中动态调节参数,以获取满意的激光点和起重机主梁下边缘二值化边缘图像,而后进入测量计算模块。

参数调节界面如图9所示。

控制面板 BCG						
Brightness	-	I				
Contrast	0	100	200 255			
🗘 56	30 3	5 40 45	50 55 60			
▲ 2 ▼ 2	, 10	1	0.1			

图9 参数调节界面

测量计算模块如图 10 所示。

最后测得主梁上已知尺寸的型钢像素宽度为 24.920 9。结合型钢实际宽度 100 mm,经程序计算可 得到本次下挠度测量的换算比例为4.012 7;测得基于 激光定点的加载前后图像中下边缘的像素位移为7, 结合换算比例计算得到的下挠度为 28.088 8 mm。



图 10 二值化边缘图像像素单位测量界面

该台起重机使用传统方法手动测量值为 28 mm, 则系统测量与传统测量的相对误差为 0.32%。

此外,为了进一步验证该系统的可靠性,笔者对另 外两种型号的门式起重机进行了系统测量和传统方法 测量结果的对比,其结果如表1所示。

表1	系统测量与传统方法测量结果对比

_				
	起重机	本系统	传统方法	相对
_	编号	测量值/mm	测量值/mm	误差/%
	1	11.017 3	11.0	0.16
	2	28.088 8	28.0	0.32
_	3	30.100 2	30.0	0.33

从表1中可以看出:对于不同型号起重机的下挠 度,系统测量值与传统方法测量值的相对误差值均小 于0.5%,由此可证明所开发的测量系统具有较强的 稳定性和可靠性,能够满足起重机下挠度测量工程应 用的需求。

5 结束语

笔者通过 LabVIEW 平台开发了一套测量起重机 下挠度的系统,改进了 Canny 边缘检测算法,提出了利 用机器视觉测量起重机下挠度的方法,并构建了基于 该方法的测量系统,进行了实际测试。

研究结果表明:

(1)该系统的测量相对误差小于0.5%,精度满足 起重机下挠度工程测量要求,测量方法安全、快捷、经 济,具有一定的工程应用价值;

(2)实现了对复杂工况环境下起重机主梁弱边缘 和孤立边缘的检测和提取,得到的边缘二值化图像边 界清晰(精确测量距离的前提),具有一定的参考价值 和学术意义。

在后续的研究中,笔者将以该系统为基础,对其进

行适应性改进与优化,以实现对厂房主梁、桥梁等大跨 度结构物体的挠度值测量。

参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国主席令第4号.《中华人民共和国特种设备安全法》[S].北京:中国法制出版社,2013.
- [2] 张大鹏,程文明,蔡 锟.基于图乘法大吨位门式起重机 跨中挠度预测的研究[J].机械科学与技术,2015,34 (10):1568-1573.
- [3] 颜丙生,陈富恒,郭军宏.基于图像处理的粮食虫害自动 分级虚拟系统研究[J].粮食与饲料工业,2014(6):18-20,26.
- [4] YANG Bing, ZHANG Xiao-yun, CHEN Li, et al. Edge guided salient object detection [J]. Neurocomputing, 2017, 221(1):60-71.
- [5] 张 洪,周益华,吴静静.基于改进 Canny 和异常轮廓点 搜索的密封圈毛刺检测系统设计[J].组合机床与自动化 加工技术,2020(10):126-130.
- [6] 吴房胜,李如平,施冬冬.改进 Canny 算子在焊缝边缘检 测中的研究[J]. 新乡学院学报,2020,37(9):46-49.
- [7] 黎 浩,汤 勃,孔建益,等.基于阈值优化的带钢表面缺陷图像边缘检测研究[J].组合机床与自动化加工技术, 2020(8):122-125.
- [8] 杨高科.图像处理、分析与机器视觉:基于 LabVIEW[M]. 北京:清华大学出版社,2018.
- [9] CANNY J. A computational approach to edge detection [J].
 IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986,8(6):679-98.
- [10] BISWAS R, ROY S, PURKAYASTHA D. An efficient content-based medical image indexing and retrieval using local texture feature descriptors [J]. International Journal of Multimedia Information Retrieval, 2019, 8(4): 217-231.
- [11] WANG Ying, LIU Yi-guang, XU Zhen-yu, et al. Approximated scale space for efficient and accurate SIFT key-point detection [M]. Springer International Publishing, 2019.
- [12] 胡 松,黄志远,邓 磊,等. Canny 算子在图像处理中的优化研究[J]. 计算机技术与发展, 2020, 30(10): 106-110, 209.
- [13] 李庆忠,刘 洋. 基于改进 Canny 算子的图像弱边缘检 测算法[J]. 计算机应用研究,2020,37(1):361-363.
- [14] ASANO T, BUZER L, BEREG S. A new algorithmic framework for basic problems on binary images [J]. Discrete Applied Mathematics, 2017, 216(2):376-392.
- [15] 刘自然,程晓辉,颜丙生,等.基于机器视觉的机床对刀 自动测量系统[J].组合机床与自动化加工技术,2017 (9):99-102.
- [16] 莫爵贤,王 宇.基于图像处理技术的标志字符识别检测系统[J].机械制造,2020,58(4):93-96.

「编辑:杨骏泽]

本文引用格式:

ZHANG Bai, YUAN Zhe-yuan, YAN Bing-sheng, et al. Crane deflection measurement method based on improved Canny algorithm[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2021,38(9):1191-1196. 《机电工程》杂志:http://www.meem.com.cn

张柏,苑哲源,颜丙生,等. 基于改进 Canny 算法的起重机下挠度测量方法研究[J]. 机电工程,2021,38(9):1191-1196.