



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105718964 B

(45)授权公告日 2019.04.16

(21)申请号 201410720170.7

(22)申请日 2014.12.02

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105718964 A

(43)申请公布日 2016.06.29

(73)专利权人 中国科学院沈阳自动化研究所
地址 110016 辽宁省沈阳市南塔街114号
专利权人 国网浙江省电力公司
国网浙江省电力公司丽水供电公司

(72)发明人 王洪光 宋屹峰 姜勇 王林
姜文东 王灿灿 初金良

(74)专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002
代理人 徐丽

(51)Int.Cl.

G06K 9/64(2006.01)

G06K 9/46(2006.01)

(56)对比文件

CN 102609716 A,2012.07.25,

CN 103903005 A,2014.07.02,

US 2008025568 A1,2008.01.31,

李全民 等.架空输电线路巡线机器人的视觉导航.《计算机工程与应用》.2007,

审查员 齐智超

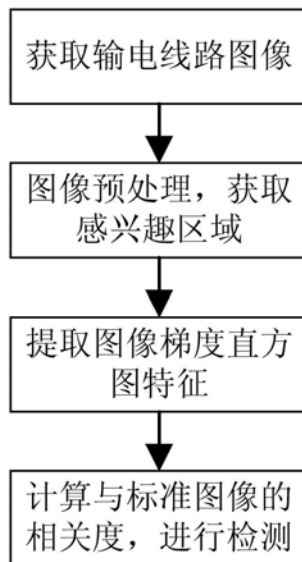
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种输电线防振锤的视觉检测方法

(57)摘要

本发明公开了一种输电线防振锤的视觉检测方法,属于数字图像识别领域,目的在于克服现有检测方法的问题,扩大输电线巡检与维护机器人自主检测金具的种类,并提高检测的自动化程度与准确性。本发明用于机器人自主识别输电线路上的防振锤金具。检测顺序如下:(1)图像的获取步骤;(2)图像的预处理步骤;(3)图像的特征提取步骤;(4)输电线金具检测步骤。本发明将数字图像处理技术引入到输电线防振锤金具的检测,利用输电线巡检与维护机器人采集的图像信息,使机器人自主的从线路环境中识别出防振锤金具。为机器人进行输电线路金具的自主检测提供了一种智能化的技术手段。



1. 一种输电线防振锤的视觉检测方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 图像的获取;在电力机器人上安装相机设备,固定相机设备的图像采集角度和相机参数,获取输电线图像;

(2) 图像的预处理;对输电线图像进行处理,得到包含输电线的感兴趣区域;

(3) 图像特征提取;在感兴趣区域中,提取图像的梯度直方图特征,获取梯度直方图特征向量h;

(4) 输电线金具检测;对于图像特征向量h,分别与事先建立的防振锤金具标准库 H^{Damp} 与输电线标准库 H^{Wire} 进行比较,计算出图像特征向量h与防振锤金具、输电线库的相关度,根据相关度的大小来实现防振锤金具的检测;

所述输电线金具检测具体包括以下步骤:

建立输电线路的标准线路图库与防振锤图库,每个图库中各有m张标准图像;

分别提取标准线路图像的图像梯度直方图特征 $h_i, i=1, 2 \dots m$,与标准防振锤图像的图像梯度直方图特征 $h_j, j=1, 2 \dots m$,以上图像梯度直方图特征分别构成输电线标准库 H^{Wire} 与防振锤金具标准库 H^{Damp} ;

计算待检测图像的图像梯度直方图特征h,并依此计算h与 H^{Wire} 、 H^{Damp} 库内每个元素的相关度系数 $c_i (i=1, 2 \dots m)$ 与 $c_j (j=1, 2 \dots m)$;

计算得到h与每个库的相关度 $c^{Wire} = \frac{\sum c_i}{m} (i=1, 2 \dots m)$ 与 $c^{Damp} = \frac{\sum c_j}{m} (j=1, 2 \dots m)$;

采用以下判别式完成防振锤检测:当 $c^{Wire} \leq c^{Damp}$ 时,则检测结果为防振锤;当 $c^{Damp} \leq c^{Wire}$ 时,则检测结果为正常线路。

2. 根据权利要求1所述的一种输电线防振锤的视觉检测方法,其特征在于,所述图像的预处理包括以下步骤:

(2.1) 通过灰度化处理将彩色的输电线图像转换为灰度图像;

(2.2) 采用高斯滤波对灰度图像进行滤波,并通过直方图均衡化调节图像的对比度;

(2.3) 采用Canny算子在初步裁剪后的图像中检测输电线的边缘位置,并以边缘位置为基准去除其他区域,得到边缘图像;

(2.4) 采用霍夫变换的方法,对边缘图像中的直线进行提取,通过分析导线的位置与方向特征,对于提取出的直线进行筛选,获取导线边缘的位置信息;

(2.5) 以获取的导线边缘作为基准,在指定位置区域截取指定尺寸的矩形作为感兴趣区域。

3. 根据权利要求2所述的一种输电线防振锤的视觉检测方法,其特征在于,所述对边缘图像中的直线进行提取的方法为:按照以下条件筛选两根直线作为输电线边缘:

$$\left| [\sin \beta \quad \cos \beta] \cdot \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta v \end{bmatrix} - w_d \right| \leq \zeta$$

其中,输电线边缘直线 L_1 与 L_2 在图像坐标系uv中的表达分别为 $u \cos \beta_1 + v \sin \beta_1 = \rho_1$ 与 $u \cos \beta_2 + v \sin \beta_2 = \rho_2$; $\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$,为线路边缘直线方向,考虑到机器人携带的相机与线路间的相对位置关系,满足如下条件 $\beta_{low} \leq \beta \leq \beta_{high}$, β_{low} , β_{high} 分别是线路边缘方向角阈值; $[\Delta u, \Delta v]^T$ 为从输电线边缘直线 L_1 上一点到直线 L_2 上一点的矢量; w_d 为线路宽度所对应的像素个

数, ζ 为设定的阈值。

4. 根据权利要求1所述的一种输电线防振锤的视觉检测方法, 其特征在于, 所述提取图像的梯度直方图特征的过程为: 将图像划分为若干相连区域cell, 计算cell中每个像素点的梯度强度及方向, 对各个像素点进行直方图计算, 将具有相同梯度方向的像素点的梯度强度作为梯度直方; 将相连的若干个cell作为一个区域block, 连接block内所有cell的直方图并归一化处理, 形成一个表示block内图像梯度信息的归一化数组; 最后将整个图像的所有block的数组联合, 即是图像的梯度直方图特征向量。

5. 根据权利要求4所述的一种输电线防振锤的视觉检测方法, 其特征在于, 所述计算cell中每个像素点的梯度方向通过下式计算:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\partial f}{\partial v}, \frac{\partial f}{\partial u}\right)$$

其中 f 为像素点的灰度; $\frac{\partial f}{\partial u}$ 与 $\frac{\partial f}{\partial v}$ 为水平与垂直方向的梯度强度; θ 为梯度方向。

6. 根据权利要求4所述的一种输电线防振锤的视觉检测方法, 其特征在于, 所述计算cell中每个像素点的梯度强度通过下式计算:

$$\|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$$

其中, $\nabla f = \frac{\partial f}{\partial u} \vec{u} + \frac{\partial f}{\partial v} \vec{v}$, f 为像素点的灰度; $\frac{\partial f}{\partial u}$ 与 $\frac{\partial f}{\partial v}$ 为水平与垂直方向的梯度强度。

一种输电线防振锤的视觉检测方法

技术领域

[0001] 本发明属于数字图像识别领域,具体涉及一种基于图像的输电线防振锤金具检测方法,用于输电线巡检与维护机器人对防振锤金具进行自主检测。

背景技术

[0002] 截止2011年底,仅我国220kV及以上输电回路长度已经超过48万千米,其中包含大幅度增长的500kV及以上交直流电压等级的跨区、跨省、省内骨干电网。输电网络需要定期巡视维护,目前,这项工作主要由通过人工方式进行。由输电线路工人通过望远镜在地面对线路进行观察,必要时工人还要登塔走线以实现对线路的近距离检测,当发现输电线路故障时,输电线路工人会采用滑车、走线、骑线等方式接近作业目标点,完成维护作业[中国科学院学部.关于建立超大规模输配电和电网安全保障体系的建议.中国科学院院刊,2009,24(5):493,541.]。

[0003] 然而在目前的巡检与维护过程中暴露出下列几个方面的问题:工作劳动强度大,危险性高;人工检测的准确率较低;维护成本高;维护检测质量难以控制。

[0004] 为了解决以上问题,输电线路巡检与维护机器人于20世纪80年代末被提出代替人工完成相应工作,经过20多年的发展,机器人的应用从早期的视觉线路检测,逐步发展到完成线路警示球安装、线路除冰、防振锤螺钉紧固等维护任务[佃松宜,翁桃,廖云杰等.巡线机器人的研究综述及面向智能电网技术的一些探讨.四川电力技术,2009,32(z1):47-51.]。而在巡检作业过程中,机器人需要对防振锤等金具进行检测,使机器人进行合理的越障动作。

[0005] 目前,对于输电线路防振锤金具的检测,主要采用提取防振锤上圆形特征的视觉方法,[谭磊,王耀南,沈春生等.输电线路除冰机器人障碍视觉检测识别算法.仪器仪表学报,2011,32(11):2564-2571.]。但是这种方法受其他复杂金具环境、背景光照等因素的影响较大。

发明内容

[0006] 为了克服现有检测方法的问题,提高防振锤检测的自动化程度与准确性,本发明要解决的技术问题是提供一种输电线防振锤的视觉检测方法。

[0007] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:一种输电线防振锤的视觉检测方法,包括以下步骤:

[0008] (1) 图像的获取;在电力机器人上安装相机设备,固定相机设备的图像采集角度和相机参数,获取输电线图像;

[0009] (2) 图像的预处理;对输电线图像进行处理,得到包含输电线的感兴趣区域;

[0010] (3) 图像特征提取;在感兴趣区域中,提取图像的梯度直方图特征,获取梯度直方图特征向量 h ;

[0011] (4) 输电线金具检测;对于图像特征向量 h ,分别与事先建立的防振锤金具标准库

H^{Damper} 与输电线标准库 H^{Wire} 进行比较,计算出图像特征向量 h 与防振锤金具、输电线库的相关度,根据相关度的大小来实现防振锤金具的检测。

[0012] 所述图像的预处理包括以下步骤:

[0013] (2.1)通过灰度化处理将彩色的输电线图像转换为灰度图像;

[0014] (2.2)采用高斯滤波对灰度图像进行滤波,并通过直方图均衡化调节图像的对比度;

[0015] (2.3)采用Canny算子在初步裁剪后的图像中检测输电线的边缘位置,并以边缘位置为基准去除其他区域,得到边缘图像;

[0016] (2.4)采用霍夫变换的方法,对边缘图像中的直线进行提取,通过分析导线的位置与方向特征,对于提取出的直线进行筛选,获取导线边缘的位置信息;

[0017] (2.5)以获取的导线边缘作为基准,在指定位置区域截取指定尺寸的矩形作为感兴趣区域。

[0018] 所述对边缘图像中的直线进行提取的方法为:按照以下条件筛选两根直线作为输电线边缘:

$$[0019] \quad \left| \begin{bmatrix} \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta v \end{bmatrix} - w_d \right| \leq \zeta$$

[0020] 其中,输电线边缘直线 L_1 与 L_2 在图像坐标系 uv 中的表达分别为 $u \cos \beta_1 + v \sin \beta_1 = \rho_1$ 与 $u \cos \beta_2 + v \sin \beta_2 = \rho_2$; $\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$,为线路边缘直线方向,考虑到机器人携带的相机与线路间的相对位置关系,满足如下条件 $\beta_{\text{low}} \leq \beta \leq \beta_{\text{high}}$, β_{low} , β_{high} 分别是线路边缘方向角阈值; $[\Delta u, \Delta v]^T$ 为从输电线边缘直线 L_1 上一点到直线 L_2 上一点的矢量; w_d 为线路宽度所对应的像素个数, ζ 为设定的阈值。

[0021] 所述提取图像的梯度直方图特征的过程为:将图像划分为若干相连区域 cell ,计算 cell 中每个像素点的梯度强度及方向,对各个像素点进行直方图计算,将具有相同梯度方向的像素点的梯度强度作为梯度直方;将相连的若干个 cell 作为一个区域 block ,连接 block 内所有 cell 的直方图并归一化处理,形成一个表示 block 内图像梯度信息的归一化数组;最后将整个图像的所有 block 的数组联合,即是图像的梯度直方图特征向量。

[0022] 所述计算 cell 中每个像素点的梯度方向通过下式计算:

$$[0023] \quad \theta = \arctan\left(\frac{\partial f}{\partial v}, \frac{\partial f}{\partial u}\right)$$

[0024] 其中 f 为像素点的灰度; $\frac{\partial f}{\partial u}$ 与 $\frac{\partial f}{\partial v}$ 为水平与垂直方向的梯度强度; θ 为梯度方向。

[0025] 所述计算 cell 中每个像素点的梯度强度通过下式计算:

$$[0026] \quad \|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$$

[0027] 其中, $\nabla f = \frac{\partial f}{\partial u} \mathbf{r}_u + \frac{\partial f}{\partial v} \mathbf{r}_v$, f 为像素点的灰度; $\frac{\partial f}{\partial u}$ 与 $\frac{\partial f}{\partial v}$ 为水平与垂直方向的梯度强度。

[0028] 所述输电线金具检测具体包括以下步骤:

[0029] 建立输电线路的标准线路图库与防振锤图库,每个图库中各有m张标准图像;

[0030] 分别提取标准线路图像的图像梯度直方图特征 $h_i, i=1,2\cdots m$,与标准防振锤图像的图像梯度直方图特征 $h_j, j=1,2\cdots m$,以上图像梯度直方图特征分别构成输电线路标准库 H^{Wire} 与防振锤金具标准库 H^{Damp} ;

[0031] 计算待检测图像的图像梯度直方图特征h,并依此计算h与 H^{Wire} 、 H^{Damp} 库内每个元素的相关度系数 $c_i (i=1,2\cdots m)$ 与 $c_j (j=1,2\cdots m)$;

[0032] 计算得到h与每个库的相关度 $c^{Wire} = \frac{\sum c_i}{m} (i=1,2\cdots m)$ 与 $c^{Damp} = \frac{\sum c_j}{m} (j=1,2\cdots m)$;

[0033] 采用以下判别式完成防振锤检测:当 $c^{Wire} \leq c^{Damp}$ 时,则检测结果为防振锤;当 $c^{Damp} \leq c^{Wire}$ 时,则检测结果为正常线路。

[0034] 本发明具有以下优点及有益效果:

[0035] 1.本发明提供的输电线路防振锤的视觉检测,改变了采用人工进行输电线路缺陷检测的方式,克服了人工长期检测容易疲劳误判的缺陷,实现了输电线路防振锤检测的自动化。

[0036] 2.本发明利用通过线路边缘检测,准确的提取出图像中的感兴趣区域,去除了多余区域,有利于提高运算速度;输电线路梯度直方图特征用于区分正常线路与防振锤金具,防振锤检测识别准确率高,并且检测方法针对光照等干扰因素有较强的鲁邦性。

[0037] 3.本发明已在输电线路机器人上进行试验,试验结果表明,采用本发明的机器人系统可以准确完成输电线路防振锤的检测,并利用该检测结果记录线路信息、指导机器人行为。

附图说明

[0038] 图1是本发明的流程示意图;

[0039] 图2是机器人采集输电线路图像的示意图;

[0040] 图3是机器人采集的待处理的输电线路图像;

[0041] 图4是经过直方图均衡化的输电线路灰度图;

[0042] 图5是经过高斯滤波的灰度图像;

[0043] 图6是采用Canny算子得到的边缘图像;

[0044] 图7是采用霍夫变换得到的输电线路边缘直线;

[0045] 图8是一个cell的图像梯度直方图;

[0046] 图9是一个block的图像梯度直方图;

[0047] 图10是一幅图像中感兴趣区域的图像梯度直方图;

[0048] 图11是输电线路图像的感兴趣区域及梯度直方图特征;

[0049] 图12是防振锤图像的感兴趣区域及梯度直方图特征。

具体实施方式

[0050] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0051] 本发明以检测出的输电线路边缘作为基准,获取输电线路感兴趣区域,并提取该区域中的图像梯度直方图作为图像特征h,结合建立的输电线路标准库 H^{Wire} 与防振锤金具标

准库 H^{Dampner} ,计算当前的图像特征 h 与每个库的相关度。通过判别相关度,完成防振锤金具的检测。该方法可以有效的对输电线防振锤进行识别,提高了检测的自动化程度,如图1所示,具体流程如下:

[0052] (1) 图像获取步骤

[0053] 在输电线维护机器人上安装相机设备,固定该设备的图像采集角度、焦距等参数,获取尺寸大小稳定的线路图像。图2是机器人采集图像的示意图。图3是采集的输电线图像。

[0054] (2) 图像预处理步骤

[0055] (2.1) 首先通过灰度化处理将彩色图像转换为灰度图像,并通过直方图均衡化调节图像的对比度。当机器人安装在线路上时,机器人与线路有稳定的相对位置关系。当设定相机云台姿态与相机视角一定,线路位于图像中部区域。图4是经过直方图均衡化的输电线路灰度图。

[0056] (2.2) 为了去除图像中的噪声,同时弱化边缘细节对边缘检测的影响,采用高斯滤波的方式对(2.1)获取的图像进行滤波。图5所示是经过高斯滤波的图像。

[0057] (2.3) 采用Canny算子对(2.2)获取的图像进行边缘检测。图6所示是提取出的图像边缘。

[0058] (2.4) 对于边缘图像,采用霍夫变换的方法,分别对图像中的直线进行提取。对于获取的图像中的所有的直线,设其中任意两根直线的表达为: $u\cos\beta_1+v\sin\beta_1=\rho_1$ 与 $u\cos\beta_2+v\sin\beta_2=\rho_2$ 。挑选满足如下条件两根直线,其作为输电线路边缘。

$$[0059] \quad \left| [\sin\beta \quad \cos\beta] \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta v \end{bmatrix} - w_d \right| \leq \zeta$$

[0060] 其中, $\beta = \frac{\beta_1+\beta_2}{2}$,为线路边缘直线方向,考虑到机器人携带的相机与线路间的相对位置关系,满足如下条件 $\beta_{\text{low}} \leq \beta \leq \beta_{\text{high}}$, β_{low} , β_{high} 分别是线路边缘方向角阈值; $[\Delta u, \Delta v]^T$ 为从输电线边缘直线 L_1 上一点到直线 L_2 上一点的矢量; w_d 为线路宽度所对应的像素个数, ζ 为设定的阈值。图7所示是提取出的输电线路边缘。

[0061] (2.5) 在获取线路边缘的基础上,截取指定宽度Width与指定高度Height的矩形区域作为感兴趣区域,矩形的左上角点 $(0, V_{\text{left}}-t)$, V_{left} 为线路左侧边缘横坐标, t 为设定值。

[0062] (3) 图像特征提取步骤

[0063] 提取图像梯度直方图作为图像特征,计算感兴趣区域中每个像素点的梯度

$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} \vec{x} + \frac{\partial f}{\partial y} \vec{y}, \text{ 获取相应的梯度方向 } \theta = \arctan\left(\frac{\partial f}{\partial y}, \frac{\partial f}{\partial x}\right) \text{ 与梯度强度 } \|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}.$$

[0064] 在此基础上,将图像划分为若干相连区域cell,每个cell取 8×8 像素,对同一cell的各个像素点进行直方图计算,将具有相同梯度方向的像素点的梯度强度作为梯度直方。图8所示是一个cell中图像梯度直方图。

[0065] 而后将相连的若干个cell作为一个区域block,这里每个block取 3×3 cell,连接块内所有cell的直方图并归一化处理,形成一个表示块内图像梯度信息的归一化数组,图9所示是一个block中图像梯度直方图。最后将整个图像的所有block的图像梯度直方图联合,即是图像的梯度直方图特征。图10所示是一幅图像感兴趣区域的图像梯度直方图。

[0066] (4) 防振锤金具检测步骤

[0067] 建立输电线路的标准线路图库与防振锤图库。每个图库中各有 m 张标准图像。分别提取标准线路图像的图像梯度直方图特征 h_i ($i=1,2,\dots,m$)与标准防振锤图像的图像梯度直方图特征 h_j ($j=1,2,\dots,m$)。以上图像特征分别构成输电线路梯度直方图标准库 H^{Wire} 与防振锤金具梯度直方图标准库 H^{Damper} 。采用皮尔逊方法,分别计算待检测图像的梯度直方图特征 h 与 H^{Wire} 、 H^{Damper} 中每个元素 h_i ($i=1,2,\dots,m$)、 h_j ($j=1,2,\dots,m$)的相关度系数 c_i ($i=1,2,\dots,m$)、 c_j ($j=1,2,\dots,m$)。计算得到图像与每类库的相关度系数 $c^{\text{Wire}} = \frac{\sum c_i}{m}$ ($i=1,2,\dots,m$)与 $c^{\text{Damper}} = \frac{\sum c_j}{m}$ ($j=1,2,\dots,m$)。

对以上相关度系数进行如下判定,完成防振锤检测。

[0068] 当 $c^{\text{Wire}} \leq c^{\text{Damper}}$,则检测结果为防振锤。

[0069] 当 $c^{\text{Damper}} \leq c^{\text{Wire}}$,则检测结果为正常线路。

[0070] 图11、图12分别为检测出的线路与防振锤的原始图像、感兴趣区域和图像梯度直方图。

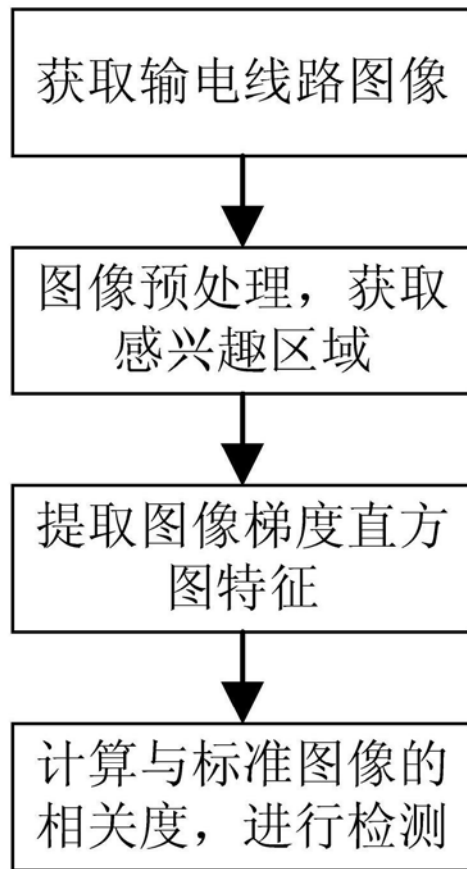


图1

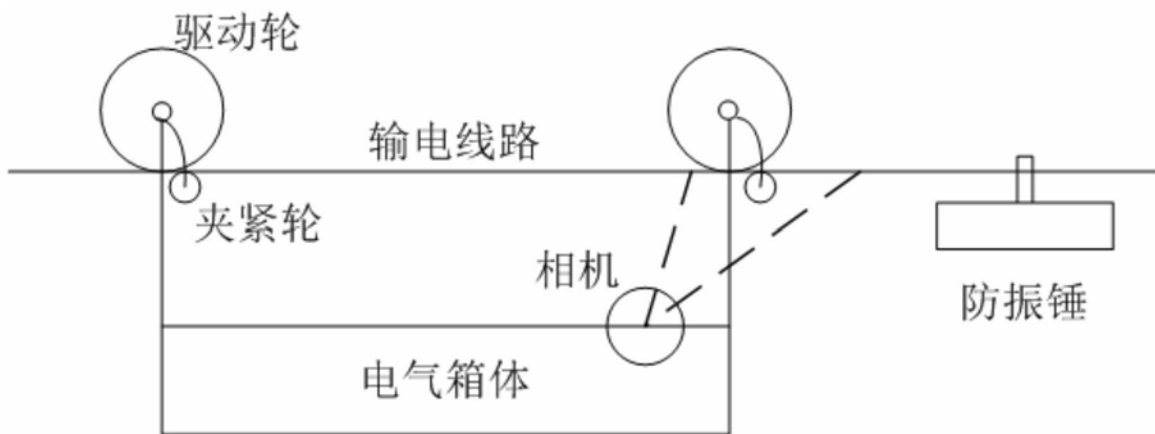


图2

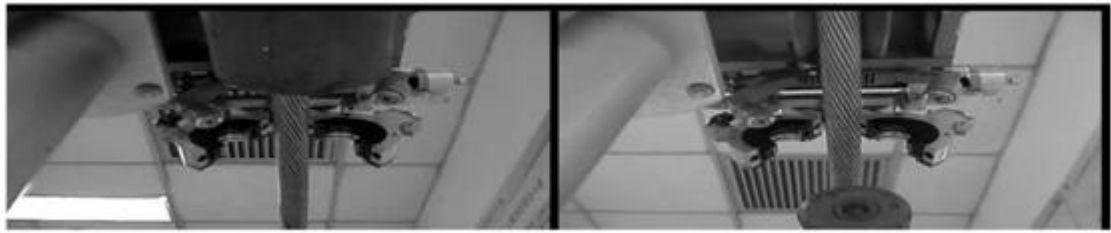


图3

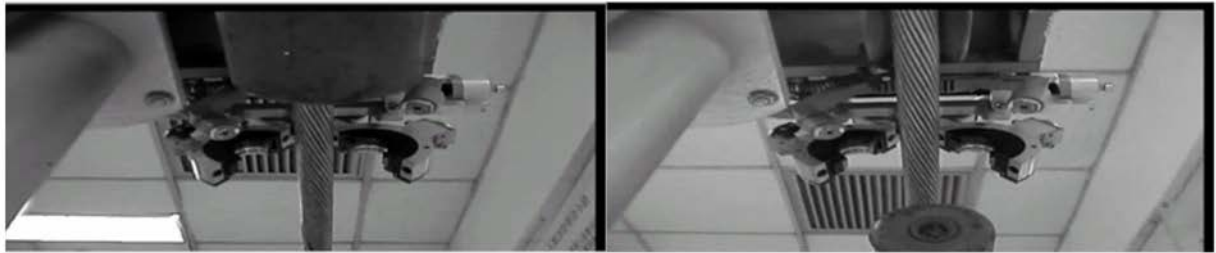


图4

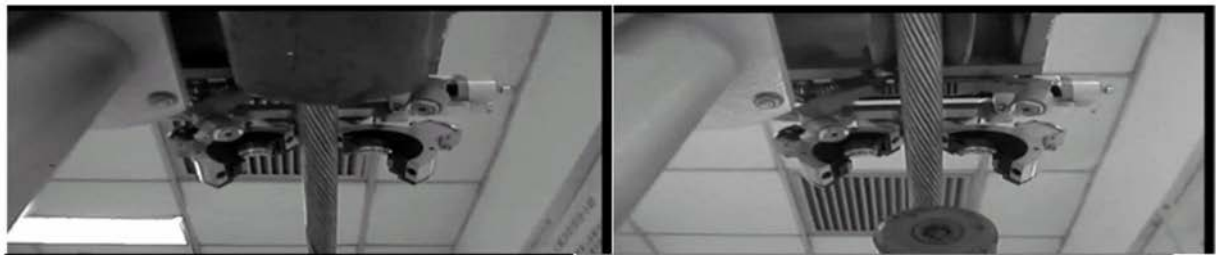


图5

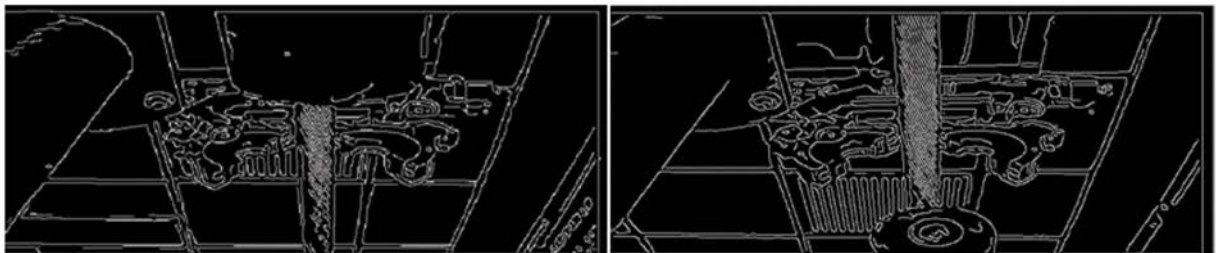


图6



图7

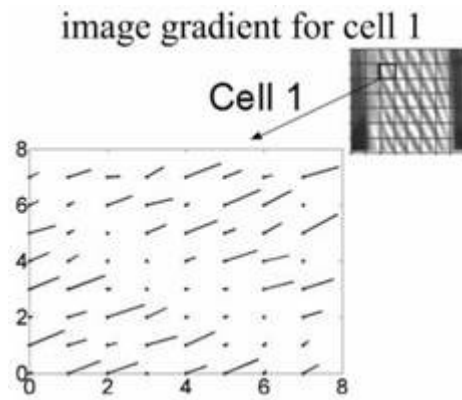


图8

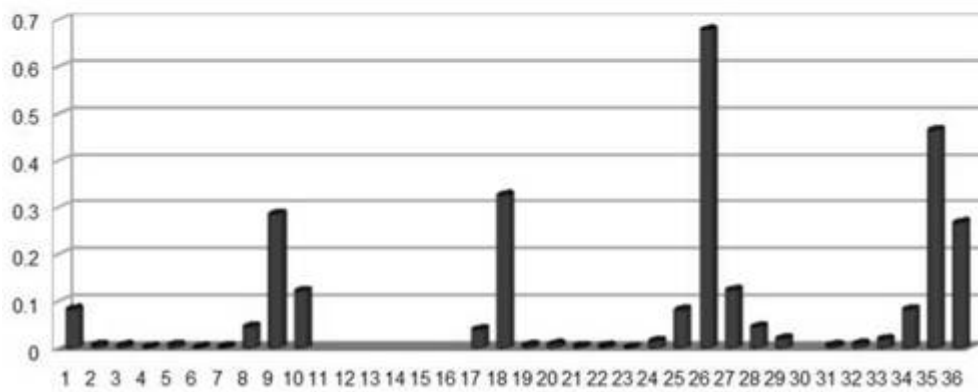
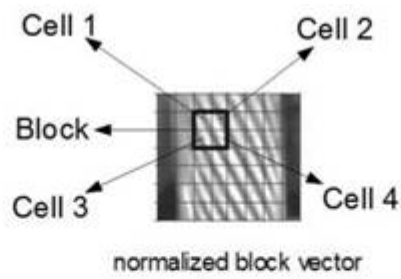


图9

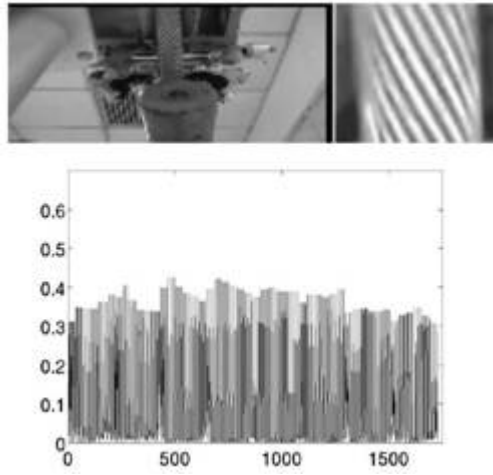


图10

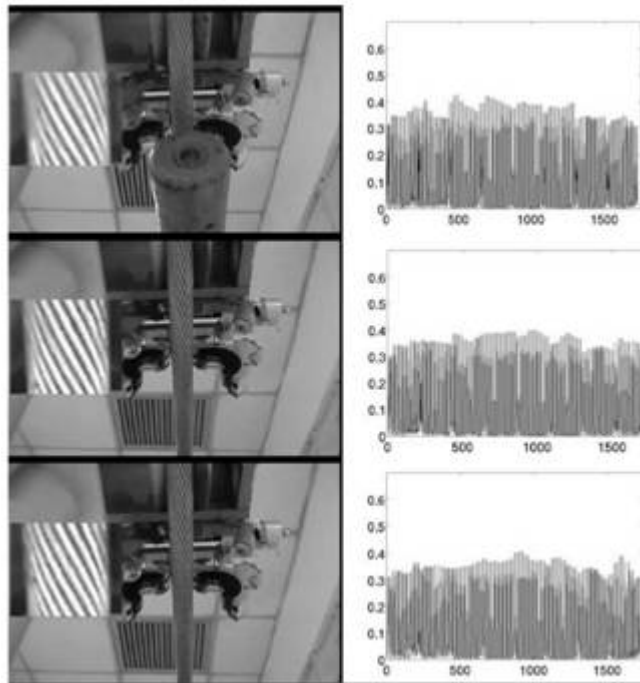


图11

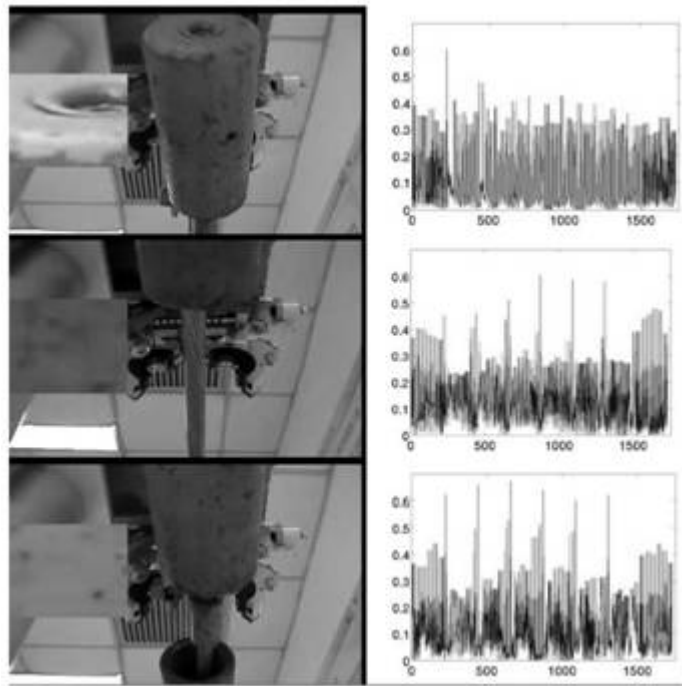


图12