



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103886610 A

(43) 申请公布日 2014. 06. 25

(21) 申请号 201410136596. 8

(22) 申请日 2014. 04. 05

(71) 申请人 东北电力大学

地址 132012 吉林省吉林市船营区长春路
169 号

(72) 发明人 胡建平 谢琪 张杰 李鹏松

(74) 专利代理机构 吉林市达利专利事务所
22102

代理人 陈传林

(51) Int. Cl.

G06T 7/00 (2006. 01)

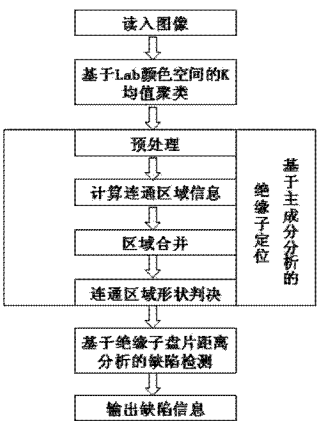
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种绝缘子图像缺陷检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种绝缘子图像缺陷检测方法。其特征在于包括如下步骤：首先利用彩色图像中绝缘子的颜色呈现聚类的特性，通过在 Lab 颜色空间中利用 K 均值聚类算法将绝缘子从复杂的背景图像中初步分割出来；然后利用绝缘子在图像形成的长条对称特性，采用基于主成分分析的连通区域判决方法定位出绝缘子的具体位置；在此基础上，通过统计分析绝缘子相邻盘片之间的距离识别出绝缘子缺陷区域。该方法受不同光线和复杂背景的影响较小，提高了绝缘子缺陷检测的准确性和鲁棒性，具有较高的工程实用价值。



1. 一种绝缘子图像缺陷检测方法,其特征是:包括以下步骤:

1) 基于 Lab 颜色空间的 K 均值聚类

把直升机巡检获取的输电线路的彩色绝缘子图像从 RGB 空间转换到 Lab 空间,然后将表示颜色的色度分量 a 和 b 作为属性值向量进行 K 均值聚类分割,进而将其分割成多个类别,考虑到绝缘子的颜色呈现聚类特性,则其必然属于某一个类别;

2) 基于主成分分析的绝缘子定位

经过基于 K 均值的聚类方法分割后存在几个类别,每个类别又以多个连通区域的形式出现,需要从众多的连通区域中找到绝缘子所在的连通区域;由于绝缘子整体呈现规则的对称长条特性,因此采用基于主成分分析的连通区域形状判决方法进行绝缘子精确定位,主要步骤如下:

a) 预处理:通过数学形态学操作对聚类分割后的图像进行腐蚀、膨胀去掉小的噪声,同时对图像中连通区域的孔洞进行填充,以保证分割后绝缘子的完整性;

b) 计算连通区域信息:利用主成分分析计算连通区域的轴向、宽、高等信息;

c) 区域合并:通过对特定的连通区域进行合并,以保证由于缺陷导致绝缘子分开的部分连接在一起;

d) 连通区域形状判决:判定所有连通区域的形状得到绝缘子所在的精确位置;

3) 基于绝缘子盘片距离分析的缺陷检测

将基于主成分分析的绝缘子定位所得的绝缘子二值图像进行旋转,使得绝缘子的主轴方向平行于竖直 y 轴方向,再对绝缘子的二值图像通过沿竖直 y 轴方向进行积分投影,得到积分投影曲线;通过绝缘子盘片完好处两相邻极大值之间的距离近似相等,而在绝缘子缺陷处两相邻极大值的距离明显变大的特性,精确定位出绝缘子的缺陷位置,并在图像中标记;

所述步骤 1) 中把直升机巡检获取的输电线路的彩色绝缘子图像从 RGB 空间转换到 Lab 空间,具体计算公式如下:

$$\begin{cases} X = 0.4125R' + 0.3576G' + 0.1805B' \\ Y = 0.2126R' + 0.7152G' + 0.0722B' \\ Z = 0.0193R' + 0.1192G' + 0.9505B' \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} L = 116f(Y/Y_0) - 16 \\ a = 500f(X/X_0) - f(Y/Y_0) \\ b = 200f(Y/Y_0) - f(Z/Z_0) \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{式中 } (R', G', B') = \frac{1}{255}(R, G, B), \quad f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & t > 0.008856 \\ 7.787 * t + 16/116 & t \leq 0.008856 \end{cases}, \quad X_0, Y_0, Z_0 \text{ 为标准光源}$$

D65 的三刺激值,其值为 $X_0 = 95.045, Y_0 = 100, Z_0 = 108.255$;

所述步骤 2) 中的步骤 b) 采用如下的方式计算连通区域的轴向、宽、高等信息:

对于连通区域 $A = (p_1, \dots, p_k, \dots, p_N)$, $p_k = (x_k, y_k)$, $k = 1, \dots, N$ 表示该连通区域中的点,则其协方差矩阵为:

$$M = \sum_{k=0}^N (p_k - c)^T (p_k - c) \quad (3)$$

式中 c 表示该连通区域的质心, $(\cdot)^T$ 表示向量的转置;

通过计算协方差矩阵 M 的最大特征值对应的特征向量得到该连通区域的主轴, 计算最小特征值对应的特征向量得到该连通区域的次轴, 计算沿着两个轴线方向的最远距离得到连通区域的宽度 w 和高度 h ;

所述的步骤 2) 的步骤 c) 采用如下的方式对特定的连通区域进行合并:

记连通区域 A_i 和 A_j 的单位主轴方向分别为 d_i 和 d_j , 质心分别为 c_i 和 c_j , 宽度分别为 w_i 和 w_j , 如果下列关系式成立, 则合并这两个连通区域:

$$|w_i - w_j| < w_T \quad (4)$$

$$\arccos(|(d_i \cdot d_j)|) < a_T \quad (5)$$

$$\arccos\left(\left|d_i \cdot \frac{c_i - c_j}{\|c_i - c_j\|}\right|\right) < a_T \quad (6)$$

式中 (\cdot) 表示两个向量内积, w_T 和 a_T 分别表示选定的宽度差异阈值和偏离角度阈值, 设 $w_T = 3$, $a_T = 1$, 即合并的两个子串的宽度应该不超过 3 个像素, 偏离角度不超过 1 弧度;

所述的步骤 2) 中的步骤 d) 采用如下的方式判定连通区域的形状得到绝缘子所在的确切位置:

对于连通区域 A , 设其宽和高分别为 w 和 h , 连通区域中点的个数为 N , 计算如下形状判决度量:

高宽比 $k_1 = h/w$; 连通区域最小包围盒里物体像素所占比例 $k_2 = N/(w \cdot h)$; 连通区域的对称度 k_3 , 设连通区域中关于主轴的对称点落在连通区域中的点的数目为 N_1 , 则对称度为 $k_3 = N_1/N$;

如果形状判决度量 k_1, k_2, k_3 都能超过给定的阈值, 设 $k_1 > 8, k_2 > 0.7, k_3 > 0.9$, 则判定该连通区域是绝缘子;

所述的步骤 3) 中的积分投影方式计算如下:

$$f_y(n) = \sum_{j=1}^w f(j, n), n = 1 \cdots h \quad (7)$$

式中 w, h 分别表示绝缘子所在连通区域的宽度和高度, $f(j, n)$ 表示位置 (j, n) 处的函数值, 如果该点是绝缘子上的点, 取值为 1, 如果是背景点, 取值为 0。

一种绝缘子图像缺陷检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种绝缘子图像缺陷检测方法。

背景技术

[0002] 利用直升机进行输电线路巡检,已成功应用于我国输电线路的运行和维护中。由于直升机巡检过程中摄影、摄像设备记录了大量输电线路图像信息,包含了输电线路的基本特征及运行状态信息,通过对这些图像进行处理可以发现输电线路中设备缺陷和故障隐患,不仅可克服人工方式的各种缺陷,提高工作效率和检测精度,而且能够提高线路巡检的自动化水平,减少巡检人员,为无人直升机在电力巡检中的应用以及输电线路的智能化奠定基础。

[0003] 绝缘子是架空输电线路的重要组成部分,其盘片掉片损伤是一种常见的故障缺陷,通过图像处理技术对其进行诊断是直升机自动巡检技术中的一个重要研究内容。现有的一类技术是基于椭圆检测的绝缘子识别方法,他们通过 Hough 变换检测图像中的椭圆,进而根据绝缘子盘片的并排特性得到绝缘子所在的区域。但是绝缘子在成像过程中由于各个盘片相互遮挡,所得的绝缘子盘片呈现的椭圆缺失太多,给椭圆检测带来了很大的困难。另外一类技术是通过统计绝缘子的颜色范围定位出绝缘子大致区域,然后针对该区域采用经典的图像分割方法如最大类间方差法、最大熵阈值法、边缘链码等进行分割,最后对绝缘子进行均匀分块的直方图匹配检测绝缘子缺陷。由于绝缘子在不同的光照条件下可能出现不同的颜色特性,很难完全准确的统计出不同光照下绝缘子的颜色范围,而且绝缘子图像中通常包括树木、山川、河流、道路、杆塔等复杂背景,完全可能包含有与绝缘子颜色相近的物体,给这类方法提出了巨大的挑战。

发明内容

[0004] 本发明的目的是为了减少不同光线和复杂背景等对绝缘子缺陷检测的影响,将绝缘子从复杂的背景图像中定位出来,并准确识别出绝缘子的缺陷区域,以克服现有方法的缺陷,提高绝缘子缺陷检测的准确性和鲁棒性。

[0005] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的:一种绝缘子图像缺陷检测方法,其特征是:包括以下步骤:

[0006] 1) 基于 Lab 颜色空间的 K 均值聚类

[0007] 把直升机巡检获取的输电线路的彩色绝缘子图像从 RGB 空间转换到 Lab 空间,然后将表示颜色的色度分量 a 和 b 作为属性值向量进行 K 均值聚类分割,进而将其分割成几个类别,考虑到绝缘子的颜色呈现聚类特性,则其必然属于某一个类别;

[0008] 2) 基于主成分分析的绝缘子定位

[0009] 经过基于 K 均值的聚类方法分割后存在几个类别,每个类别又以多个连通区域的形式出现,需要从众多的连通区域中找到绝缘子所在的连通区域;由于绝缘子整体呈现规则的对称长条特性,因此采用基于主成分分析的连通区域形状判决方法进行绝缘子精确定

位,主要步骤如下:

[0010] a) 预处理:通过数学形态学操作对聚类分割后的图像进行腐蚀、膨胀去掉小的噪声,同时对图像中连通区域的孔洞进行填充,以保证分割后绝缘子的完整性;

[0011] b) 计算连通区域信息:利用主成分分析计算连通区域的轴向、宽、高等信息;

[0012] c) 区域合并:通过对特定的连通区域进行合并,以保证由于缺陷导致绝缘子分开的部分连接在一起;

[0013] d) 连通区域形状判决:判定所有连通区域的形状得到绝缘子所在的精确位置;

[0014] 3) 基于绝缘子盘片距离分析的缺陷检测

[0015] 将基于主成分分析的绝缘子定位所得的绝缘子二值图像进行旋转,使得绝缘子的主轴方向平行于竖直 y 轴方向,再对绝缘子的二值图像通过沿竖直 y 轴方向进行积分投影,得到积分投影曲线;通过绝缘子盘片完好处两相邻极大值之间的距离近似相等,而在绝缘子缺陷处两相邻极大值的距离明显变大的特性,精确定位出绝缘子的缺陷位置,并在图像中标记;

[0016] 所述步骤 1) 中把直升机巡检获取的输电线路的彩色绝缘子图像从 RGB 空间转换到 Lab 空间,具体计算公式如下:

$$[0017] \quad \begin{cases} X = 0.4125R' + 0.3576G' + 0.1805B' \\ Y = 0.2126R' + 0.7152G' + 0.0722B' \\ Z = 0.0193R' + 0.1192G' + 0.9505B' \end{cases} \quad (1)$$

$$[0018] \quad \begin{cases} L = 116f(Y/Y_0) - 16 \\ a = 500f(X/X_0) - f(Y/Y_0) \\ b = 200f(Y/Y_0) - f(Z/Z_0) \end{cases} \quad (2)$$

$$[0019] \quad \text{式中 } (R', G', B') = \frac{1}{255}(R, G, B), \quad f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & t > 0.008856 \\ 7.787 * t + 16/116 & t \leq 0.008856 \end{cases}, \quad X_0, Y_0, Z_0 \text{ 为标准}$$

光源 D65 的三刺激值,其值为 $X_0 = 95.045, Y_0 = 100, Z_0 = 108.255$;

[0020] 所述步骤 2) 中的步骤 b) 采用如下的方式计算连通区域的轴向、宽、高等信息:

[0021] 对于连通区域 $A = (p_1, \dots, p_k, \dots, p_N), p_k = (x_k, y_k), k = 1, \dots, N$ 表示该连通区域中的点,则其协方差矩阵为:

$$[0022] \quad M = \sum_{k=0}^N (p_k - c)^T (p_k - c) \quad (3)$$

[0023] 式中 c 表示该连通区域的质心, $(\cdot)^T$ 表示向量的转置;

[0024] 通过计算协方差矩阵 M 的最大特征值对应的特征向量得到该连通区域的主轴,计算最小特征值对应的特征向量得到该连通区域的次轴,计算沿着两个轴线方向的最远距离得到连通区域的宽度 w 和高度 h ;

[0025] 所述的步骤 2) 的步骤 c) 采用如下的方式对特定的连通区域进行合并:

[0026] 记连通区域 A_i 和 A_j 的单位主轴方向分别为 d_i 和 d_j , 质心分别为 c_i 和 c_j , 宽度分别为 w_i 和 w_j , 如果下列关系式成立,则合并这两个连通区域:

$$[0027] \quad |w_i - w_j| < w_T \quad (4)$$

$$[0028] \quad \arccos(|(d_i \cdot d_j)|) < a_T \quad (5)$$

$$[0029] \quad \arccos \left(\left(\mathbf{d}_i \cdot \frac{\mathbf{c}_i - \mathbf{c}_j}{\|\mathbf{c}_i - \mathbf{c}_j\|} \right) \right) < a_T \quad (6)$$

[0030] 式中 (\cdot) 表示两个向量内积, w_T 和 a_T 分别表示选定的宽度差异阈值和偏离角度阈值, 设 $w_T = 3$, $a_T = 1$, 即合并的两个子串的宽度应该不超过 3 个像素, 偏离角度不超过 1 弧度;

[0031] 所述的步骤 2) 中的步骤 d) 采用如下的方式判定连通区域的形状得到绝缘子所在的精确位置:

[0032] 对于连通区域 A, 设其宽和高分别为 w 和 h , 连通区域中点的个数为 N , 计算如下形状判决度量:

[0033] 高宽比 $k_1 = h/w$; 连通区域最小包围盒里物体像素所占比例 $k_2 = N/(w \cdot h)$; 连通区域的对称度 k_3 , 设连通区域中关于主轴的对称点落在连通区域中的点的数目为 N_1 , 则对称度为 $k_3 = N_1/N$;

[0034] 如果形状判决度量 k_1, k_2, k_3 都能超过给定的阈值, 设 $k_1 > 8, k_2 > 0.7, k_3 > 0.9$, 则判定该连通区域是绝缘子;

[0035] 所述的步骤 3) 中的积分投影方式计算如下:

$$[0036] \quad f_y(n) = \sum_{j=1}^w f(j, n), n=1 \cdots h \quad (7)$$

[0037] 式中 w, h 分别表示绝缘子所在连通区域的宽度和高度, $f(j, n)$ 表示位置 (j, n) 处的函数值, 如果该点是绝缘子上的点, 取值为 1, 如果是背景点, 取值为 0。

[0038] 本发明的优点体现在:

[0039] 1. 由于采用 K 均值聚类在 Lab 空间内对绝缘子图像进行分割, 对绝缘子在不同光线下绝缘子的色差具有较好的鲁棒性;

[0040] 2. 通过采用基于主成分分析的连通区域判决方法对聚类后的图像进行绝缘子定位, 对复杂背景具有较好的鲁棒性;

[0041] 3. 通过采用沿绝缘子主轴方向进行积分投影的方法检测绝缘子缺陷, 对绝缘子盘片遮挡产生的椭圆的形状具有较好的鲁棒性。

[0042] 4. 具有较高的工程实用价值。

附图说明

[0043] 图 1 是本发明的一种绝缘子图像缺陷检测方法的流程图。

[0044] 图 2 是本发明具体实施中的一幅绝缘子图像。

[0045] 图 3 是本发明具体实施中将绝缘子图像在 Lab 颜色空间 K 均值聚类的结果图像。

[0046] 图 4 为本发明具体实施中基于主成分分析的绝缘子定位中预处理后的结果图像。

[0047] 图 5 为本发明具体实施中基于主成分分析的绝缘子定位中计算连通区域轴向等信息后的结果图像。

[0048] 图 6 为本发明具体实施中基于主成分分析的绝缘子定位后的结果图像。

[0049] 图 7 为本发明具体实施中基于绝缘子盘片距离分析的缺陷检测中沿竖直 y 轴方向进行积分投影, 得到的积分投影曲线。

[0050] 图 8 为本发明具体实施中标记出的绝缘子缺陷图像。

具体实施方式

[0051] 下面利用附图和实例对本发明作进一步说明。

[0052] 本发明的一种绝缘子图像缺陷检测方法,如图 1 所示,具体步骤如下:

[0053] 1) 读入一幅直升机巡检输电线路航拍的绝缘子图像,如图 2 所示。

[0054] 2) 基于 Lab 颜色空间的 K 均值聚类

[0055] a) 把直升机巡检获取的输电线路的彩色绝缘子图像从 RGB 空间转换到 Lab 空间,具体计算公式如下:

$$[0056] \quad \begin{cases} X = 0.4125R' + 0.3576G' + 0.1805B' \\ Y = 0.2126R' + 0.7152G' + 0.0722B' \\ Z = 0.0193R' + 0.1192G' + 0.9505B' \end{cases} \quad (1)$$

$$[0057] \quad \begin{cases} L = 116f(Y/Y_0) - 16 \\ a = 500f(X/X_0) - f(Y/Y_0) \\ b = 200f(Y/Y_0) - f(Z/Z_0) \end{cases} \quad (2)$$

[0058] 式中 $(R', G', B') = \frac{1}{255}(R, G, B)$, $f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & t > 0.008856 \\ 7.787 * t + 16 / 116 & t \leq 0.008856 \end{cases}$, X_0, Y_0, Z_0 为标准

光源 D65 的三刺激值,其值为 $X_0 = 95.045, Y_0 = 100, Z_0 = 108.255$ 。

[0059] b) 将表示颜色的色度分量 a 和 b 作为属性值向量进行 K 均值聚类分割,这样就将彩色图像分割成多个类别,可设聚类分割时的种类为 3 类即可。考虑到绝缘子的颜色呈现聚类特性,则其必然属于某一个类别,如图 3 所示。

[0060] 3) 基于主成分分析的绝缘子定位

[0061] 经过基于 K 均值的聚类方法分割后,能够将绝缘子作为一个类别从图像中初步分割出来,但是每个类别又以多个连通区域的形式出现,需要从众多的连通区域中找到绝缘子所在的连通区域。由于绝缘子呈现规则的长条对称的特性,因此可以采用基于主成分分析的连通区域形状判决方法进行绝缘子定位。方法首先对聚类分割后的图像进行腐蚀膨胀等预处理操作;然后利用主成分分析计算连通区域的轴向、宽、高等信息;在此基础上,通过对特定的连通区域进行合并,以保证绝缘子掉片损伤后分开的部分连接在一起;最后判定所有连通区域的形状得到最终的绝缘子所在位置。

[0062] 具体步骤如下:

[0063] a) 通过数学形态学操作对聚类分割后的图像进行腐蚀、膨胀去掉小的噪声,同时对图像中连通区域的孔洞进行填充,以保证分割后绝缘子的完整性,如图 4 所示;

[0064] b) 通过主成分分析来计算连通区域的轴向、宽、高等信息。

[0065] 对于连通区域 $A = (p_1, \dots, p_k, \dots, p_N)$, $p_k = (x_k, y_k)$, $k = 1, \dots, N$ 表示该连通区域中的点,则其协方差矩阵为:

$$[0066] \quad M = \sum_{k=0}^N (p_k - c)^T (p_k - c) \quad (3)$$

[0067] 其中 c 表示该连通区域的质心, $(\cdot)^T$ 表示向量的转置。

[0068] 通过主成分分析理论,可知协方差矩阵 M 的最大特征值对应的特征向量为该连通区域的第一主成分,即主轴,最小特征值对应的特征向量为该连通区域第二主成分,即次轴,沿着两个轴线方向的最远距离得到连通区域的宽度 w 和高度 h ,如图 5 所示。

[0069] c) 连通区域合并

[0070] 记连通区域 A_i 和 A_j 的单位主轴方向分别为 d_i 和 d_j , 质心分别为 c_i 和 c_j , 宽度分别为 w_i 和 w_j 。如果下列关系式成立,则合并这两个连通区域:

$$[0071] \quad |w_i - w_j| < w_T \quad (4)$$

$$[0072] \quad \arccos(|(d_i \cdot d_j)|) < a_T \quad (5)$$

$$[0073] \quad \arccos\left(\left|d_i \cdot \frac{c_i - c_j}{\|c_i - c_j\|}\right|\right) < a_T \quad (6)$$

[0074] 其中 (\cdot) 表示两个向量内积, w_T 和 a_T 分别表示选定的宽度差异阈值和偏离角度阈值,可设 $w_T = 3$, $a_T = 1$, 即合并的两个子串的宽度应该不超过 3 个像素,偏离角度不超过 1 弧度。

[0075] 当对连通区域进行合并后,需要通过主成分分析重新计算合并后的连通区域的轴向、宽和高等信息,以便进行下一步的连通区域形状判决。

[0076] d) 连通区域形状判决

[0077] 对于连通区域 A , 设其宽和高分别为 w 和 h , 连通区域中点的个数为 N , 计算如下形状判决度量:

[0078] 高宽比 $k_1 = h/w$; 连通区域最小包围盒里物体像素所占比例 $k_2 = N/(w \cdot h)$; 连通区域的对称度 k_3 : 设连通区域中关于主轴的对称点落在连通区域中的点的数目为 N_1 , 则对称度为 $k_3 = N_1/N$ 。

[0079] 如果形状判决度量 k_1, k_2, k_3 都能超过给定的阈值(通过对大量的绝缘子图像实验,可选取 $k_1 > 8, k_2 > 0.7, k_3 > 0.9$), 则判定该连通区域是绝缘子,进而将绝缘子从聚类图像中分割出来,如图 6 所示。

[0080] 4) 基于绝缘子盘片距离分析的缺陷检测

[0081] 绝缘子是通过一些单个的圆形盘片成串排列而成,通过数码相机成像后一般呈现椭圆特性。如果将绝缘子形成的二值图像沿着垂直于主轴方向进行积分投影,则绝缘子单个盘片中心所在位置在投影曲线中会出现局部极大值,通过统计两个相邻的极大值之间的距离则可得到两个相邻绝缘子盘片的距离。

[0082] 为了计算方便,首先将分割后的绝缘子图像进行旋转,使得绝缘子的主轴方向平行于竖直 y 轴方向,再对绝缘子的二值图像通过沿竖直 y 轴方向进行积分投影,其计算公式如下:

$$[0083] \quad f_y(n) = \sum_{j=1}^w f(j, n), n=1 \cdots h \quad (7)$$

[0084] 其中 w, h 分别表示绝缘子所在连通区域的宽度和高度, $f(j, n)$ 表示位置 (j, n) 处的函数值,如果该点是绝缘子上的点,取值为 1,如果是背景点,取值为 0。

[0085] 通过绝缘子盘片二值图像积分投影曲线,如图 7 所示,在盘片完好处两相邻极大值之间的距离近似相等,而在绝缘子掉片损伤处两相邻极大值的距离明显变大,通过此特

性很容易精确定位处绝缘子的缺陷位置,如图 8 所示。

[0086] 本发明的具体实施方式并非穷举,本领域技术人员不经过创造性劳动的简单复制和改进,应属于本发明专利要求的保护范围。

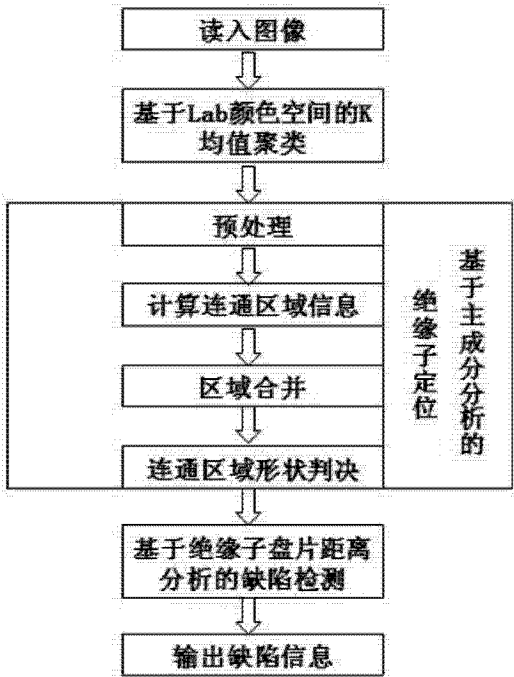


图 1

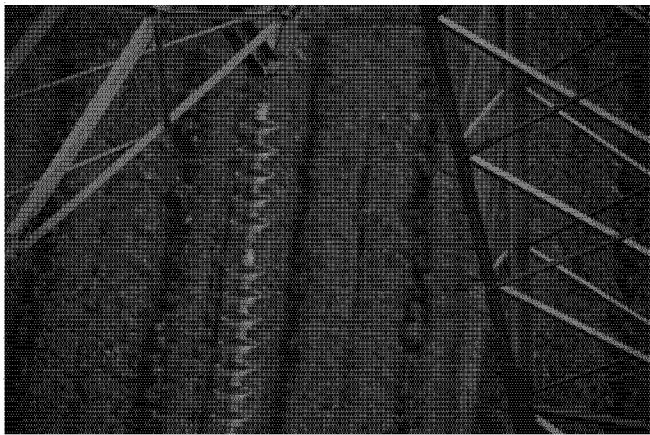


图 2



图 3

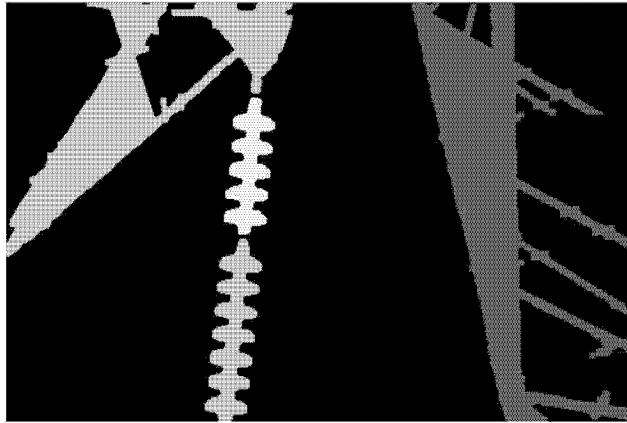


图 4

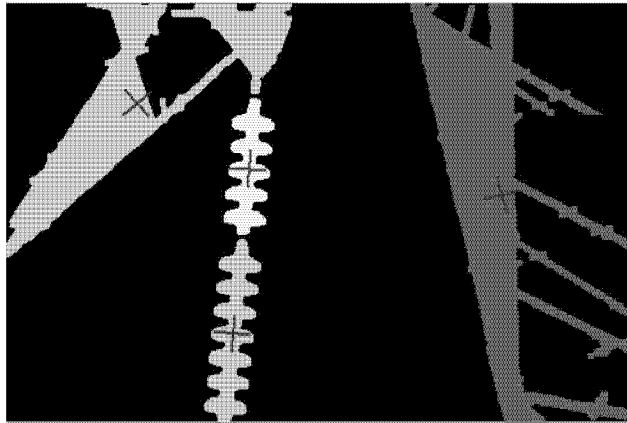


图 5

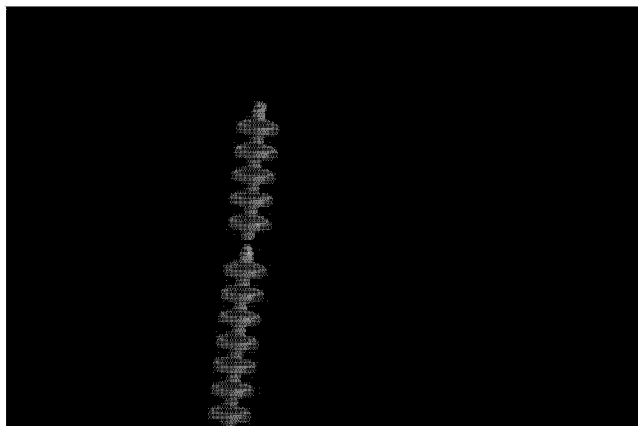


图 6

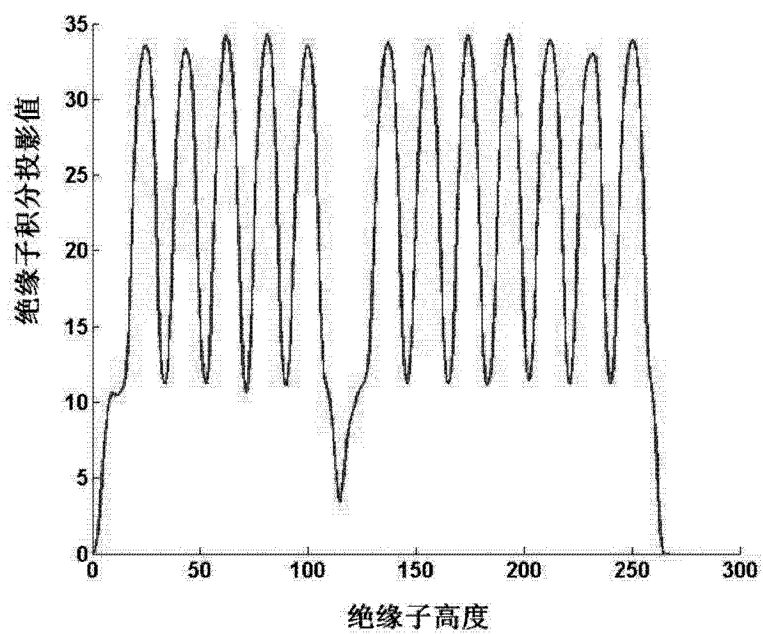


图 7

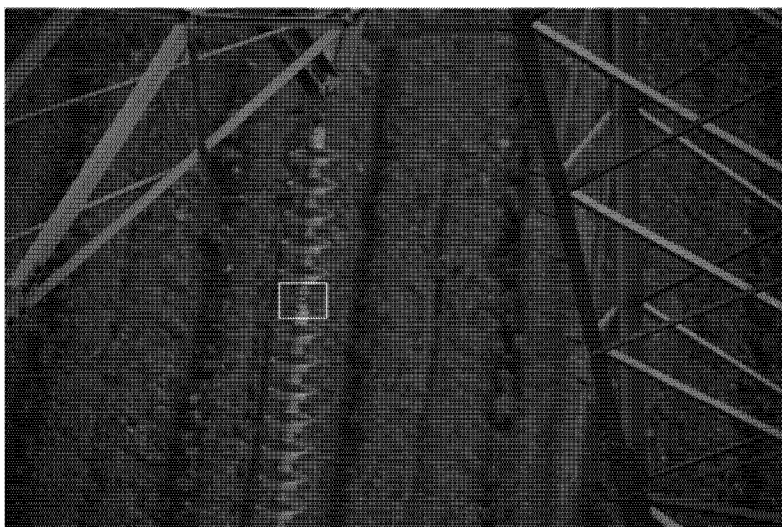


图 8