



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102252623 A

(43) 申请公布日 2011. 11. 23

(21) 申请号 201110173569. 4

(22) 申请日 2011. 06. 24

(71) 申请人 西安工程大学

地址 710048 陕西省西安市碑林区金花南路
19 号

(72) 发明人 黄新波 冯玲 陶保震 李文静

(74) 专利代理机构 西安弘理专利事务所 61214

代理人 罗笛

(51) Int. Cl.

G01B 11/06(2006. 01)

G01V 8/10(2006. 01)

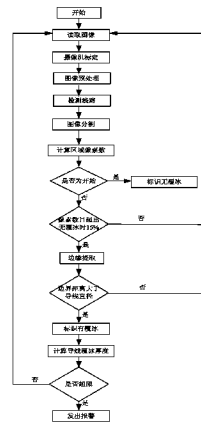
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 3 页

(54) 发明名称

基于视频差异分析的输电线路导 / 地线覆冰厚度测量方法

(57) 摘要

本发明公开的基于视频差异分析的输电线路导 / 地线覆冰厚度测量方法, 通过视频监控装置拍摄现场图像, 利用图像处理技术包括摄像机标定、图像灰度化、图像增强、图像分割等, 自动获取输电线覆冰前后的边界, 进而定量地计算导 / 地线覆冰厚度。当输电线路导 / 地线覆冰厚度超出规定的安全范围时, 自动进行报警, 提示相关部门及时采取除冰措施。本发明方法直接利用导 / 地线的覆冰图像求其覆冰厚度, 原理简单, 操作方便, 准确性和可靠性较高, 弥补以往方法的种种不足, 为输电线路的安全检测提供一种新的手段, 并可节省大量的人力资源成本, 提高在线监测系统的利用效率, 对保证电力系统的安全运行有着非常重要现实的意义。



1. 基于视频差异分析的输电线路导 / 地线覆冰厚度测量方法, 其特征在于, 具体按照以下步骤实施:

步骤 1: 通过安装在杆塔上的摄像机采集输电线路的图像信号, 将采集到的图像信号无线传送至监控中心, 监控中心从图像信号中获取所监测的输电线路现场的数字图像, 得到监测目标图像;

步骤 2: 对摄像机进行标定, 确定世界坐标系中已知点与它们在投影图像中的对应关系;

步骤 3: 对步骤 1 得到的监测目标图像进行预处理;

步骤 4: 对步骤 3 得到的预处理后的图像进行线路检测;

步骤 5: 对步骤 4 得到的检测图像采用纹理分析与阈值分割相结合的方法进行图像分割;

步骤 6: 通过计算步骤 5 中分割出的导 / 地线所占的像素初步判断是否覆冰;

步骤 7: 根据步骤 2 摄像机的标定结果将步骤 6 检测到的边缘点的图像坐标转化到世界坐标, 计算步骤 6 提取得到的覆冰前后边界之间的距离, 这两个距离之差便是输电线路的覆冰厚度。

2. 根据权利要求 1 所述的基于视频差异分析的输电线路导 / 地线覆冰厚度测量方法, 其特征在于, 所述的步骤 2 中的摄像机标定, 具体按照以下步骤实施:

1) 选择合适的标定板, 创立描述标定板行数和列数、外框的几何尺寸、方向标记、圆形标志的半径的描述文件;

2) 利用标定板的特点, 通过阈值分割、边缘提取、最小化代数误差拟合算法提取目标板的特征, 确定容易确定的标志点及其与图像中投影的关系;

3) 确定标定板上圆形标志点的二维坐标, 并得到摄像机外部参数的初始值;

4) 通过提供的初始参数为初始值, 进行优化搜索获得误差最小化的过程, 计算出摄像机的所有参数, 记下标定结果。

3. 根据权利要求 1 所述的基于视频差异分析的输电线路导 / 地线覆冰厚度测量方法, 其特征在于, 所述的步骤 3 中图像预处理, 具体按照以下步骤实施:

首先将采集的输电线路 RGB 图像按下式转换成灰度图像:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B,$$

上式中, Y 为亮度, 即 RGB 图像转换成灰度图像后对应像素点的灰度值; R、G、B 分别表示红色分量值、绿色分量值和蓝色分量值;

其次对灰度图像进行图像增强, 采用直方图均衡化对通过灰度化处理得到的图像进行处理;

最后采用中值滤波法对图像进行滤波。

4. 根据权利要求 1 所述的基于视频差异分析的输电线路导 / 地线覆冰厚度测量方法, 其特征在于, 所述的步骤 4 中的线路检测, 首先采用高斯线检测方法监测出导 / 地线在图像中的走向, 然后通过已经确定的导 / 地线走向将这部分区域从图像中用矩形框固定下来。

5. 根据权利要求 1 所述的基于视频差异分析的输电线路导 / 地线覆冰厚度测量方法, 其特征在于, 所述的步骤 5 中图像分割, 具体按照以下步骤实施: 按纹理特征值先算出一幅纹理图像, 其中每个像素的灰度级反映了该像素所在的局部区域的某些纹理特性, 按灰度

级区分各物体,采用阈值分割进一步实现导/地线的分割:迭代式阈值选择算法,具体按照以下步骤实施:

1) 求出图像的最大灰度值和最小灰度值,分别记为 Z_{\max} 和 Z_{\min} ,令初始阈值 $t = (Z_{\max} + Z_{\min}) / 2$;

2) 根据阈值 t 将图像分割为前景和背景,分别求出两者的平均灰度值 Z_0 和 Z_B ;

3) 求出新阈值 $t_0 = (Z_0 + Z_B) / 2$;

4) 若 t_0 不等于 t ,则把 t_0 的值赋给 t ,转到步骤 2),循环迭代计算;

直到 t 等于 t_0 ,则迭代结束,所得 t 即为预先假定的最佳阈值 T 。

6. 根据权利要求 1 所述的基于视频差异分析的输电线路导/地线覆冰厚度测量方法,其特征在于,所述的步骤 6 中通过计算步骤 5 中分割出的导/地线所占的像素初步判断是否覆冰,具体按照以下步骤实施:

首先以无覆冰时的导/地线像素作为参考,对原始的输电线路图像进行预处理、图像分割,然后计算图像中导线区域的像素数目,并存储起来,作为后续识别处理过程进行比较的依据;

然后不断读取采集的现场图像,在进行预处理和图像分割之后,计算其整幅图像中的目标像素数,并与已经存储的无覆冰时的像素数目进行比较:当输电线路图像中的导线区域像素数大于无覆冰时的 15% 时,对导线进行边缘提取,计算边界之间的距离,将此距离与未覆冰的导线直径做判断来确定导线是否覆冰。

基于视频差异分析的输电线路导 / 地线覆冰厚度测量方法

技术领域

[0001] 本发明属于数字视频图像处理及输电线路在线监测技术领域,涉及一种输电线路覆冰厚度测量方法,具体涉及一种基于视频差异分析的输电线路导 / 地线覆冰厚度测量方法。

背景技术

[0002] 我国受大气候、微地形和微气象条件的影响,冰灾事故频繁发生,是遭受覆冰灾害最严重的国家之一。覆冰引起的事故直接原因都是大范围长时间低温、雨雪冰冻天气,但同时也反映出电网抵御恶劣气候能力不足,缺乏在第一时间掌握线路运行情况的手段,因此对输电线路覆冰在线监测的研究有着重大的现实意义。现有的输电线路覆冰在线监测方法主要有两种:(1)通过监测导线覆冰前后重量的变化以及环境风速等气象条件,利用导线覆冰厚度计算模型得到当前线路的覆冰厚度。由于这种方法需要现场安装力传感器,不仅改变了原有的力学结构,而且需要对力学传感器进行机械强度、疲劳破坏等性能测试,因而应用受到了限制。(2)在杆塔上安装视频监控系统,通过视频图像观察现场覆冰情况,这种方法虽然将现场的情况直观地展现给工作人员,但是只能通过人眼判断覆冰而不能实现对覆冰的定量分析。为了适应智能化电网建设的要求,本发明借助现有视频监控装置拍摄现场图像,利用图像处理技术包括摄像机标定、图像灰度化、图像增强、图像分割等,自动获取输电线路覆冰前后的边界,进而定量地计算导 / 地线覆冰厚度。当覆冰厚度超出规定的安全范围时,自动进行报警,提示相关部门及时采取除冰措施,从而保障电力系统安全运行。

发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种基于视频差异分析的输电线路导 / 地线覆冰厚度测量方法,解决了现有输电线路视频监控装置只能通过人眼判断覆冰而不能实现对覆冰的定量分析的不足。

[0004] 本发明所采用的技术方案是,基于视频差异分析的输电线路导 / 地线覆冰厚度测量方法,具体按照以下步骤实施:

[0005] 步骤1:通过安装在杆塔上的摄像机采集输电线路的图像信号,将采集到的图像信号无线传送至监控中心,监控中心从图像信号中获取所监测的输电线路现场的数字图像,得到监测目标图像;

[0006] 步骤2:对摄像机进行标定,确定世界坐标系中已知点与它们在投影图像中的对应关系;

[0007] 步骤3:对步骤1得到的监测目标图像进行预处理;

[0008] 步骤4:对步骤3得到的预处理后的图像进行线路检测;

[0009] 步骤5:对步骤4得到的检测图像采用纹理分析与阈值分割相结合的方法进行图像分割;

[0010] 步骤6:通过计算步骤5中分割出的导 / 地线所占的像素初步判断是否覆冰;

[0011] 步骤 7:根据步骤 2 摄像机的标定结果将步骤 6 检测到的边缘点的图像坐标转化到世界坐标,计算步骤 6 提取得到的覆冰前后边界之间的距离,这两个距离之差便是输电线路的覆冰厚度。

[0012] 本发明的特点还在于,

[0013] 其中步骤 2 中的摄像机标定,具体按照以下步骤实施:

[0014] 1) 选择合适的标定板,创立描述标定板行数和列数、外框的几何尺寸、方向标记、圆形标志的半径的描述文件;

[0015] 2) 利用标定板的特点,通过阈值分割、边缘提取、最小化代数误差拟合算法提取目标板的特征,确定容易确定的标志点及其与图像中投影的关系;

[0016] 3) 确定标定板上圆形标志点的二维坐标,并得到摄像机外部参数的初始值;

[0017] 4) 通过提供的初始参数为初始值,进行优化搜索获得误差最小化的过程,计算出摄像机的所有参数,记下标定结果。

[0018] 其中步骤 3 中图像预处理,具体按照以下步骤实施:

[0019] 首先将采集的输电线路 RGB 图像按下式转换成灰度图像:

[0020] $Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$,

[0021] 上式中, Y 为亮度,即 RGB 图像转换成灰度图像后对应像素点的灰度值; R、G、B 分别表示红色分量值、绿色分量值和蓝色分量值;

[0022] 其次对灰度图像进行图像增强,采用直方图均衡化对通过灰度化处理得到的图像进行处理;

[0023] 最后采用中值滤波法对图像进行滤波。

[0024] 其中步骤 4 中的线路检测,首先采用高斯线检测方法监测出导/地线在图像中的走向,然后通过已经确定的导/地线走向将这部分区域从图像中用矩形框固定下来。

[0025] 其中步骤 5 中图像分割,具体按照以下步骤实施:按纹理特征值先算出一幅纹理图像,其中每个像素的灰度级反映了该像素所在的局部区域的某些纹理特性,按灰度级区分各物体,采用阈值分割进一步实现导/地线的分割:迭代式阈值选择算法,具体按照以下步骤实施:

[0026] 1) 求出图像的最大灰度值和最小灰度值,分别记为 Z_{\max} 和 Z_{\min} ,令初始阈值 $t = (Z_{\max} + Z_{\min}) / 2$;

[0027] 2) 根据阈值 t 将图像分割为前景和背景,分别求出两者的平均灰度值 Z_0 和 Z_B ;

[0028] 3) 求出新阈值 $t_0 = (Z_0 + Z_B) / 2$;

[0029] 4) 若 t_0 不等于 t,则把 t_0 的值赋给 t,转到步骤 2),循环迭代计算;

[0030] 直到 t 等于 t_0 ,则迭代结束,所得 t 即为预先假定的最佳阈值 T。

[0031] 其中步骤 6 中通过计算步骤 5 中分割出的导/地线所占的像素初步判断是否覆冰,具体按照以下步骤实施:

[0032] 首先以无覆冰时的导/地线像素作为参考,对原始的输电线路图像进行预处理、图像分割,然后计算图像中导线区域的像素数目,并存储起来,作为后续识别处理过程进行比较的依据;

[0033] 然后不断读取采集的现场图像,在进行预处理和图像分割之后,计算其整幅图像中的目标像素数,并与已经存储的无覆冰时的像素数目进行比较:当输电线路图像中的导

线区域像素数大于无覆冰时的 15% 时,对导线进行边缘提取,计算边界之间的距离,将此距离与未覆冰的导线直径做判断来确定导线是否覆冰。

[0034] 本发明的有益效果是,与现有的覆冰厚度测量方法相比,本发明原理简单、便于操作,利用安装在输电线路铁塔上的摄像装置,将覆冰情况拍摄为图像数据,并传送至远方,方便运行人员了解线路覆冰状况,这种方式大大降低了防冻融冰成本,减轻了覆冰观测哨所工作人员的劳动强度;另外,本发明不需要建立复杂的数学模型,通过图像处理技术直观定量地计算出输电线路的覆冰厚度,推动输电线路覆冰在线监测实现自动化的安全监控,从而具有重大的社会意义。

附图说明

- [0035] 图 1 是本发明中用于摄像机标定的标定板;
- [0036] 图 2 是本发明中输电线路导/地线覆冰前的图像;
- [0037] 图 3 是本发明中输电线路导/地线覆冰后的图像;
- [0038] 图 4 是本发明中输电线路导/地线覆冰前的灰度图像轮廓提取结果图;
- [0039] 图 5 是本发明中输电线路导/地线覆冰后的灰度图像轮廓提取结果图;
- [0040] 图 6 是本发明方法的流程图。

具体实施方式

[0041] 下面结合附图和具体实施方式对本发明进行详细说明。

[0042] 本发明基于视频差异分析的输电线路导/地线覆冰厚度测量方法,如图 6 所示,具体按照以下步骤实施:

[0043] 步骤 1:通过安装在杆塔上的摄像机采集输电线路的图像信号,经过无线通讯方式实时传送至监控中心;监控中心获取所监测的输电线路现场的数字图像,得到监测目标图像;

[0044] 步骤 2:对摄像机进行标定,计算出摄像机的内部和外部参数,确定世界坐标系中已知点与它们在投影图像中的对应关系;标定板的特点是:标定板周围的黑色矩形框使得标定对象的中心容易被提取;矩形边界框角落的方向标记使得标定板的方向唯一。本发明采用图 1 所示的标定板对摄像机进行标定,具体实施过程如下:

[0045] (1) 选择合适的标定板之后,要创立描述标定板行数和列数、外框的几何尺寸、方向标记、圆形标志的半径等信息的描述文件;

[0046] (2) 利用标定板的特点,通过阈值分割、边缘提取、最小化代数误差拟合等算法提取目标板的特征,确定容易确定的标志点及其与图像中投影的关系;

[0047] (3) 确定标定板上圆形标志点的二维坐标,并得到摄像机外部参数的初始值;

[0048] (4) 通过提供的初始参数为初始值,进行优化搜索获得误差最小化的过程,计算出摄像机的所有参数,记下标定结果。

[0049] 步骤 3:对步骤 1 得到的如图 2、图 3 所示的监测目标图像进行预处理以改善图像质量,为方便后续图像分割和边缘提取。具体按照以下步骤实施:

[0050] 首先对输入的图像进行灰度化,由于输电线路现场采集到的图像大多是彩色图像,如果直接对采集来的图像进行操作,对计算机系统要求会很高,这样不仅增加硬件设备

的投入成本,而且如果直接对 RGB 图像进行处理就需要分别对 RGB 图像的 R 分量、G 分量和 B 分量进行处理,还会大大增加图像处理的复杂程度并降低图像处理的速度。因而本发明先将采集来的输电线路 RGB 图像按下式转换成灰度图像。

$$[0051] \quad Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B, \quad (1)$$

[0052] 上式中, Y 为亮度,即 RGB 图像转换成灰度图像后对应像素点的灰度值; R、G、B 分别表示红色分量值、绿色分量值和蓝色分量值。

[0053] 其次对灰度图像进行图像增强,实际中摄像机采集到的输电线路图像会由于光线等原因而使整幅图像的对比度比较低,也就是说,整幅图像的灰度分布比较集中,从而不利于从图像中提取到目标物体导/地线的边界轮廓。本发明采用直方图均衡化对通过灰度化处理得到的图像进行处理。直方图均衡化是一种使输出图像直方图近似服从均匀分布的变换算法,其计算步骤如下:

[0054] (1) 列出原始图像的灰度级 $f_j, j = 0, 1, \dots, k, \dots, L-1$, 其中 L 是灰度级的个数;

[0055] (2) 统计各灰度级的像素数目 $n_j, j = 0, 1, \dots, k, \dots, L-1$;

[0056] (3) 计算原始图像直方图各灰度级的频度 $p_f(f_j) = n_j/n, j = 0, 1, \dots, k, \dots, L-1$, 其中 n 为原始图像总的像素数目;

[0057] (4) 计算累计分布函数

$$[0058] \quad C(f) = \sum_{j=0}^k P_f(f_j), \quad (2)$$

[0059] $j = 0, 1, \dots, k, \dots, L-1$;

[0060] (5) 应用以下公式计算映射后的输出图像的灰度级 $g_i, i = 0, 1, \dots, k, \dots, P-1$, P 为输出图像灰度级的个数:

$$[0061] \quad g_i = \text{INT}[(g_{\max} - g_{\min})C(f) + g_{\min} + 0.5], \quad (3)$$

[0062] 其中, INT 为取整符号;

[0063] (6) 统计映射后各级灰度级的像素数目 $n_i, i = 0, 1, \dots, k, \dots, P-1$;

[0064] (7) 计算输出图像直方图 $P_g(g_i) = n_i/n, i = 0, 1, \dots, k, \dots, P-1$;

[0065] (8) 用 f_j 和 g_i 的映射关系修改原始图像的灰度级,从而获得直方图近似为均匀分布的输出图像。

[0066] 经过直方图均衡化后,可以看出图像的细节成分更加清楚了。同时,也可以看出,在直方图调整之前,低灰度的比例很大,经过直方图调整后,各灰度等级的比例更加平衡。

[0067] 最后对图像进行滤波,其主要目的在于消除各种可能在图像采集、量化等过程中或图像传送过程中产生的干扰和噪音。而图像滤波的困难在于尽量避免在抑制噪声的同时,不使图像的边缘进一步模糊。本发明选用的中值滤波是常用的数字平滑滤波方法,它在消除图像噪声的同时,最大程度地避免了图像边缘的模糊。

[0068] 设二维图像的像素灰度集合为 $\{X_{i,j}, (i,j) \in Z^2\}$, Z^2 是二维整数集。对于大小为 $A = m \times n$ (含奇数个像素) 的窗口内的像素值中值被定义为

$$[0069] \quad Y_{i,j} = \underset{A}{\text{Median}}[X_{i+k,j+l}, (k,l) \in A], \quad (4)$$

[0070] 上式表示把窗口内的奇数个像素按灰度值大小排列,取中间像素值赋给 $Y_{i,j}$, 然后以 $Y_{i,j}$ 取代二维窗口 A 中的中心像素值作为中值滤波的输出。

[0071] 目前常用的数字平滑滤波方法主要有均值滤波和中值滤波。均值滤波器是一种常用的线性平滑滤波器,其像素输出值是由邻域像素的平均值决定的。中值滤波方法与均值滤波相似,只是中值滤波器输出的像素值是由邻域像素的中间值(特定区域内灰度值处在中间的像素)而不是平均值决定的,这就使得中值滤波在消除图像噪声特别是孤立噪声点的同时,最大程度地避免了图像边缘的模糊,从而更有利于图像边缘的检测和提取。因此,本发明在对图像进行边缘提取之前均对图像进行了中值滤波处理。

[0072] 中值滤波是基于排序统计理论的一种能有效抑制噪声的非线性信号处理技术,它的基本原理是把数字图像或数字序列中一点的值用该点的一个邻域中各点值的中值代替,让周围的像素值接近的真实值,从而消除孤立的噪声点。实现中值滤波图像去噪处理需要以下几个步骤:

[0073] (1) 设定滤波器模块的大小,如取 3×3 模块;

[0074] (2) 将模块在图像中漫游,并将模块中心与图像中某一像素位置重合;

[0075] (3) 读取模块下个对应像素的灰度值;

[0076] (4) 将这些灰度值从小到大排序;

[0077] (5) 找出这些值中中间一个作为中介值,将这个值赋给对应模板中心像素,这时就可以使周围像素的灰度值差趋于零,从而消除孤立噪声点。

[0078] 步骤4:为了减少计算量,本发明首先对步骤3得到的预处理后的未覆冰的图像进行线路检测,由于安装在杆塔上的摄像机是固定的,因此可以通过这种方法来确定后续图像处理的区域。导线在图像中有良好的线性度,穿越图片的大部分区域,基于这两个特点首先可以采用高斯线检测方法监测出导/地线在图像中的走向,然后通过已经确定的导/地线走向将这部分区域从图像中用矩形框固定下来。在之后的处理过程中,算法只需要在这个矩形框里进行处理即可,极大地减少了运算量。

[0079] 步骤5:在步骤4确定的算法处理区域中利用图像分割将导/地线分割出来。图像分割是极其关键的一步,这一步直接关系到后续识别处理结果的准确性。由于在冰雪天气输电线路图像对比度都比较低,准确的将目标线路完整的分割出来将是一个难点。而且受光照强度变化的影响,图像灰度分布特性也不断发生变化。因此,寻找一个合适的分割算法,准确的将目标从背景中分割出来是首要解决的问题。考虑到覆冰的输电线路图像中背景和导/地线的灰度差异不明显,若直接对其阈值分割的话,提取不出覆冰的导/地线。本发明采用纹理分析与阈值分割相结合的方法实现图像分割。图像的纹理一般理解为图像灰度在空间上的变化和重复,或图像中反复出现的局部模式(纹理单元)和它们的排列规则。

[0080] 按照一定的算法模型对纹理特征进行描述,纹理特征是从物体图像中计算出来的一个值,它对物体内部灰度级的变化的性质特征进行量化。因此,本发明将设法按纹理特征值先算出一幅纹理图像,其中每个像素的灰度级反映了该像素所在的局部区域的某些纹理特性。因而在表示纹理的图像中,就可按灰度级区分各物体,从而可以用传统的方法对其进行分割。纹理分析之后的图像背景和物体处于不同的灰度级,可大致将背景与导/地线在图像中区分开来,可以采用阈值分割进一步实现导/地线的分割。阈值分割的难点在于阈值的选取,它直接关系到图像的分割效果。选取阈值的方法有很多,比如:双峰法、迭代法、最大类间方差法等。阈值迭代算法等同于数学上的逐步逼近和迭代。该方法的基本思想是:每一幅图像都存在一个最佳的阈值,开始时先选择一个阈值作为初始估计值,然后按某

种错略不断改进这一估计值,直到满足给定的准则为止。在迭代过程中,关键之处在于选择什么样的阈值改进策略。好的阈值改进策略应该具备两个特征:一是能够快速收敛,二是在每一个迭代过程中,新产生阈值优于上一次阈值。下面介绍一种迭代式阈值选择算法,其具体步骤如下:

[0081] (1) 求出图像的最大灰度值和最小灰度值,分别记为 Z_{\max} 和 Z_{\min} ,令初始阈值 $t = (Z_{\max} + Z_{\min}) / 2$;

[0082] (2) 根据阈值 t 将图像分割为前景和背景,分别求出两者的平均灰度值 Z_0 和 Z_B ;

[0083] (3) 求出新阈值 $t_0 = (Z_0 + Z_B) / 2$;

[0084] (4) 若 t_0 不等于 t ,则把 t_0 的值赋给 t ,转到步骤 (2),循环迭代计算。

[0085] 直到 t 等于 t_0 ,则迭代结束,所得 t 即为预先假定的最佳阈值 T 。

[0086] 步骤 6:导线覆冰体现在图像中最大的特点就是导线区域所占的像素数变大,基于这个特点可以通过计算导线区域的像素数变化来初步判断导线是否有覆冰;本发明识别和计算输电线路覆冰厚度的基本依据是通过计算步骤 5 中分割出的导/地线所占的像素初步判断是否覆冰。

[0087] 首先需要以无覆冰时的导/地线像素作为参考,对原始的输电线路图像进行预处理、图像分割等操作,然后计算图像中导线区域的像素数目,并存储起来,作为后续识别处理过程进行比较的依据。

[0088] 然后不断读取采集的现场图像,在进行预处理和图像分割之后,计算其整幅图像中的目标像素数,并与已经存储的无覆冰时的像素数目进行比较。当输电线路图像中的导线区域像素数大于无覆冰时的 15% 时,对导线进行边缘提取,计算边界之间的距离,将此距离与未覆冰的导线直径做判断来确定导线是否覆冰。

[0089] 本发明利用 Sobel 对输电线路导/地线结果图进行边缘检测,其基本思想就是先检测图像中的边缘点,再按照某种策略将边沿点连接成轮廓。图像中某物体边界上的像素点,其邻域将是一个灰度级变化带。衡量这种变化最有效的两个特征值就是灰度的变化率和变化方向,它们分别以梯度向量的幅值和方向来表示。对于连续图像 $f(x, y)$,其方向导数在边缘(法线)方向上有局部最大值。因此,边缘检测就是求 $f(x, y)$ 梯度的局部最大值和方向。本发明采用 Sobel 算子进行边缘检测,在技术上,它是一离散性差分算子,用来运算图像亮度函数的灰度之近似值,根据像素点上下、左右邻点灰度加权差,在边缘处达到极值这一现象检测边缘。该算子包含两组 3×3 的矩阵,分别为横向及纵向,将之与图像作平面卷积,即可分别得出横向及纵向的亮度差分近似值。如果以 A 代表原始输电线路导/地线图像, G_x 及 G_y 分别代表经横向及纵向边缘检测的图像灰度值,其公式如下:

$$[0090] \quad G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * A, \quad (5)$$

$$[0091] \quad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * A, \quad (6)$$

[0092] 具体计算如下:

$$[0093] \quad G_x = (-1)*f(x-1, y-1) + 0*f(x, y-1) + 1*f(x+1, y-1)$$

[0094] $+(-2)*f(x-1, y)+0*f(x, y)+2*f(x+1, y)$

[0095] $+(-1)*f(x-1, y-1)+0*f(x, y+1)+1*f(x+1, y+1)$

[0096] $= [f(x+1, y-1)+2*f(x+1, y)+f(x+1, y+1)]-[f(x-1, y-1)+2*f(x-1, y)+f(x-1, y+1)]$, (7)

[0097] $G_y = 1*f(x-1, y-1)+2*f(x, y-1)+1*f(x+1, y-1)$

[0098] $+0*f(x-1, y)+0*f(x, y)+0*f(x+1, y)$

[0099] $+(-1)*f(x-1, y+1)+(-2)*f(x, y+1)+(-1)*f(x+1, y+1)$

[0100] $= [f(x-1, y-1)+2*f(x, y-1)+f(x+1, y-1)]-[f(x-1, y+1)+2*f(x, y+1)+f(x+1, y+1)]$, (8)

[0101] 其中 $f(a, b)$, 表示图像 (a, b) 点的灰度值;

[0102] 图像的每一个像素的横向及纵向灰度值通过以下公式结合, 来计算该点灰度的大小:

$$[0103] \quad |G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \quad (9)$$

[0104] 通常, 为了提高效率使用不开平方的近似值:

$$[0105] \quad |G| = |G_x| + |G_y|, \quad (10)$$

[0106] 如果梯度 G 大于某一阈值则认为该点 (x, y) 为边缘点。

[0107] 然后可用以下公式计算梯度方向:

$$[0108] \quad \theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right), \quad (11)$$

[0109] 采用 Sobel 算子对输电线路导 / 地线进行边缘检测的结果如图 4、图 5 所示。

[0110] 步骤 7: 根据步骤 2 摄像机的标定结果将步骤 6 检测到的边缘点的图像坐标转化到世界坐标, 计算步骤 6 提取得到的覆冰前后边界之间的距离, 这两个距离之差便是输电线路的覆冰厚度。计算得到导 / 地线覆冰前的直径为 $D = 27\text{mm}$, 导 / 地线覆冰后的平均直径约为 $\bar{D} = 36.4\text{mm}$, 得出平均覆冰厚度 $a = 4.7\text{mm}$ 。

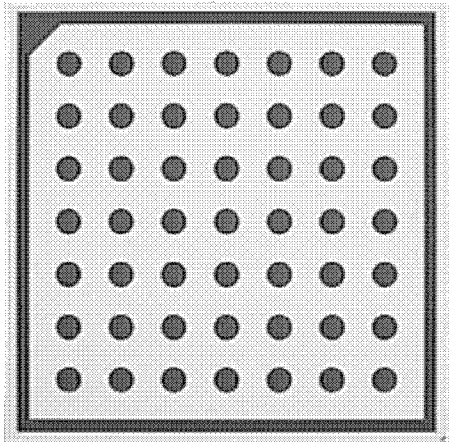


图 1

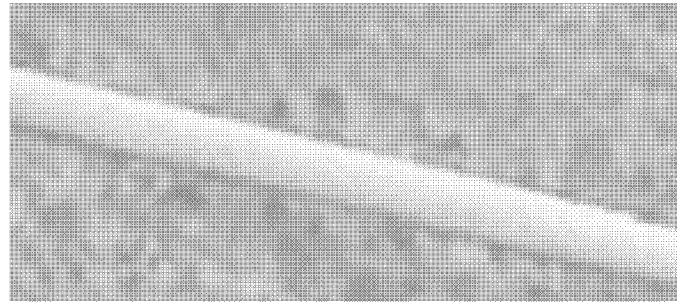


图 2



图 3

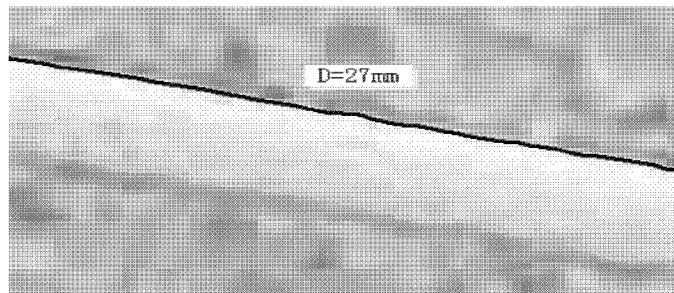


图 4

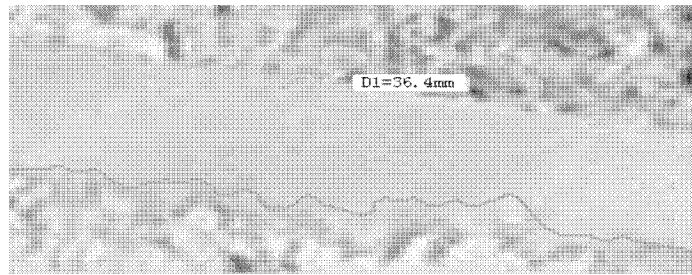


图 5

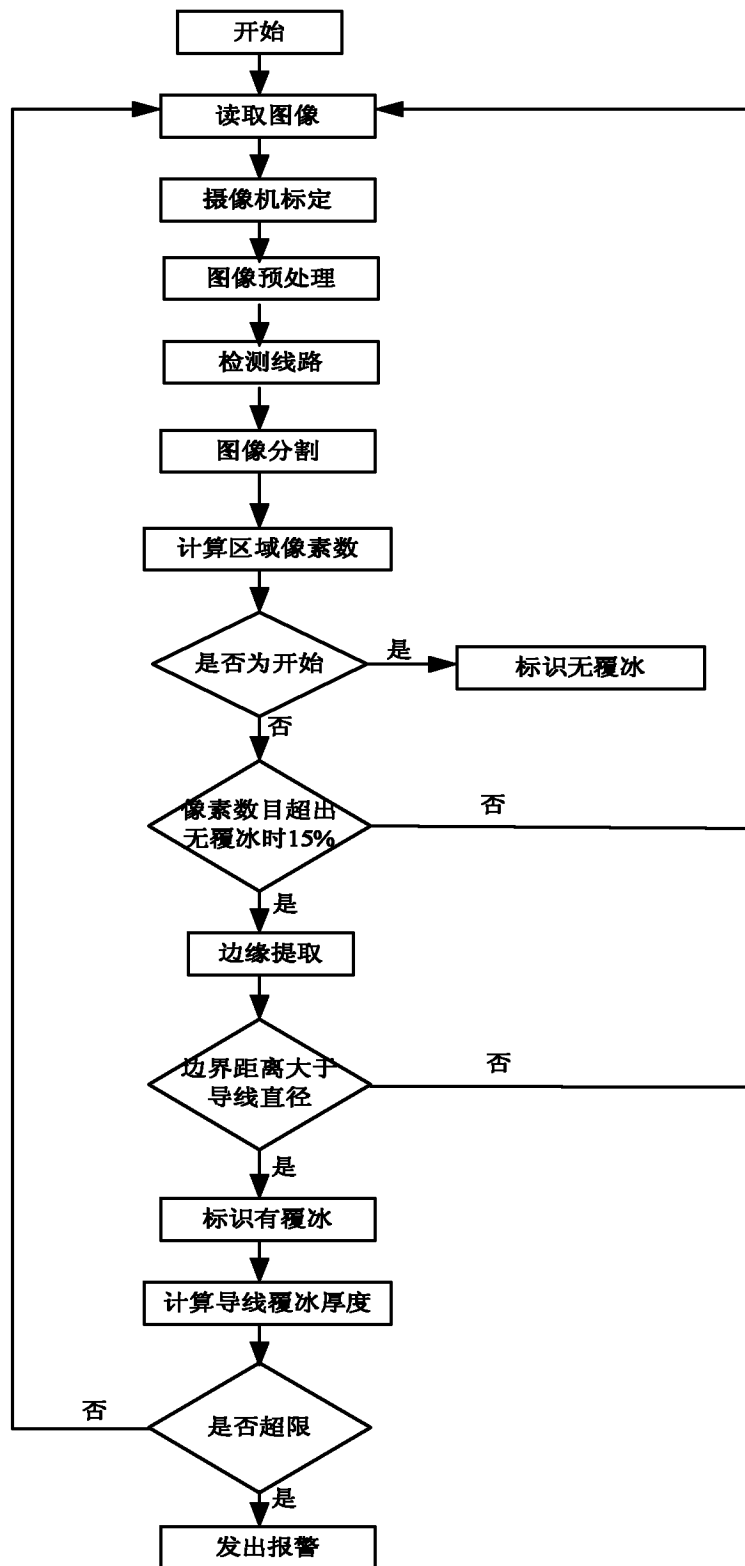


图 6