

# 基于 DSP 的输电线路覆冰厚度检测方法<sup>①</sup>

陈嘉玲<sup>1</sup>, 黎福海<sup>1</sup>, 李 强<sup>1</sup>, 向永嘉<sup>1</sup>, 陆佳政<sup>2</sup>, 罗 晶<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(湖南大学 电气与信息工程学院, 长沙 410082)

<sup>2</sup>(湖南省电力公司试验研究院科技中心, 长沙 410007)

**摘 要:** 输电线路覆冰是高压输电线路中经常出现并产生巨大危害的异常运行状况。主要讨论了基于图像测量覆冰厚度的原理, 提出一种新的测量覆冰厚度的算法, 利用摄像头采集图像, 并通过 DSP 对图像特征进行匹配, 提取出线缆边界来测量覆冰厚度。

**关键词:** 线缆覆冰; 图像处理; 特征匹配

## Power Line Icing Identification Based on DSP

CHEN Jia-Ling<sup>1</sup>, LI Fu-Hai<sup>1</sup>, LI Qiang<sup>1</sup>, XIANG Yong-Jia<sup>1</sup>, LU Jia-Zheng<sup>2</sup>, LUO Jing<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

<sup>2</sup>(Hunan Electricity Power Test and Research Institute, Changsha 410007, China)

**Abstract:** Ice accretion on power line usually causes great damage to high voltage transmission system. A novel algorithm is proposed for detecting thickness of ice covered on the power line. Based on image taken by the digital camera, the method for automatic analysis and identification of power line icing was studied by using algorithms of image matching and edge detecting.

**Key words:** power line icing; image processing; feature matching

## 1 引言

输电线路是电网的基本组成部分, 由于其分布范围广, 常面临各种不同地理环境和气候环境的影响, 当不利条件及组合足以导致线路故障时, 就会影响线路的安全运行, 严重时甚至会形成大面积停电事故。此外, 中国受大气候和微地形、微气象条件的影响, 冰灾事故频繁发生。由于覆冰导线舞动振幅很大, 可以导致相间闪络、金具损坏、跳闸停电、拉倒杆塔、导线折断等严重事故。中国很多地区都具备发生舞动的条件, 并已发生过多次舞动事故, 对输电线路的安全运行构成严重威胁, 造成了重大经济损失。

输电线路覆冰的危害相当严重, 目前主要有以下几种线缆覆冰检测方案:

(1) 设立覆冰观测站, 由专人职守并记录气象信息及覆冰情况。但设立站点一般较为偏远, 生活艰苦, 人为因素较大, 成本太高<sup>[1]</sup>。

(2) 在线路杆塔安装监测分机, 监测分机定时 / 实时完成环境温度、湿度、风速、风向、雨量以及该杆塔绝缘子的倾斜角、风偏角、覆冰导线的重力变化、导线舞动频率等信息的采集<sup>[2]</sup>。

(3) 基于图像处理的方法, 通过提取覆冰电缆的特征, 计算覆冰厚度。

本文在上述研究的基础上提出一种基于 DSP 的、简单、适应性强的线检测算法, 针对覆冰线缆图像具有平滑性或周期性的特点, 通过行扫描或列扫描确定线缆所在区域, 并进行边缘提取, 计算出线缆覆冰前后的线径差, 从而计算出线缆的覆冰厚度。本文工作重点在于搭建覆冰厚度检测系统硬件平台, 并对采集的图像进行处理, 得到覆冰厚度。

## 2 硬件系统设计

硬件系统框图如图 1 所示:

① 收稿时间:2010-11-25;收到修改稿时间:2010-12-27

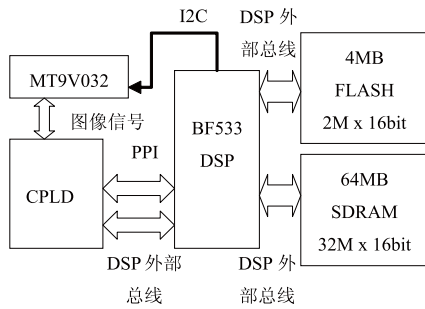


图 1 覆冰厚度检测系统框图

本系统由一个 CMOS 图像传感器、CPLD、高速存储器 SDRAM、存储器 FLASH 以及 DSP 构成。DSP 选用 ADI 公司的 BF533 作为主处理器，它是 Blackfin 系列中针对多媒体尤其是视频处理和通信方面的高端产品。该系统通过 I2C 总线配置图像传感器，使图像传感器工作在 SLAVE 模式，并通过 CPLD 做图像传感器的输出时序控制器再将采集到的电缆图像通过 DSP 的 DMA 存储到 SDRAM 中，进行特征匹配以及边缘提取，输出覆冰前后线径差，得到覆冰厚度值。

### 3 算法设计

#### 3.1 覆冰线路特征分析

对于输电线路覆冰厚度的研究，目前很多工作集中于电气特性的测量。事实上，考虑输电线路覆冰的形态特征，不难发现最为直接的特征：线缆覆冰后，其径向厚度较未覆冰时增大，这种增大直接反应当前线缆覆冰程度。径向距离增大越多，表明线缆覆冰越严重。

覆冰厚度计算算法基于以下几点：

1) 线缆的边界点是间断存在的：倘若边界根本不存在，没有足够的大对比点数，人眼也无法判断，所以，边界是客观存在的。

2) 边界点不一定连续：图像获取设备能否拍到边界点取决于与边界点的对比度是否达到图像获取设备的最低灰度分辨率或者是色度分辨率，由于背景的随机性，边界点在图像中是否存在本身也是一个随机事件。因此，除非理想状态，否则边界点是不会连续存在的。但是线缆的边界点要比其他干扰物的边界点具备更好的连通性，通过搜索算法能够将不连续的边界点贯穿到一起。

3) 边界点混在众多背景的边界点之中：前景和背

景可以对比强烈，背景本身也有对比强烈的部分，因此背景本身也有丰富的边界点，而线缆的边界点就是混杂在这些边界点之间的，边界点的强度可能高于干扰，也可能低于干扰。

根据以上几点，设计算法步骤如下：

1) 线缆是圆柱形的，所以绝大多数情况下，线缆的阴影区域和高光区域都是按照线缆的延伸方向剖分成两半，因此，在线缆的延伸方向上，阴影或者是高光具有一致性。如图 2 所示：

2) 线缆沿着纹理伸展方向或是周期性的或是光滑的。

3) 计算出线缆未覆冰时在图片中的直径信息（所占像素数）以及线缆覆冰后在图片中的直径信息（所占像素数）最后，利用线缆覆冰前后所占像素之差及线缆直径像素值与实际尺寸之比，计算线缆覆冰厚度值。

#### 3.2 算法描述

在整幅图像中进行行扫描或列扫描，得到的点只要满足平滑性或周期性即便判定成线缆上的点。

1) 平滑性判断原则：

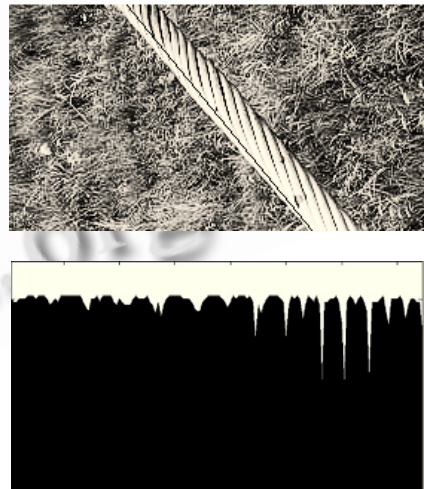


图 2 线缆平滑区域取样

如图 2 所示，在线缆高亮部分取样，线缆在位于黑线那部分区域不呈周期性，而呈现出平滑特性。从而引入一个平滑度的概念，对于指定图像  $f(x,y)$ ， $f(x,y)$  为图像中  $(x,y)$  点所对应的灰度值， $I$  为整幅图像中所有点的集合，均值和标准差的比值  $R_\sigma$  被定义为平滑度：

$$R_\sigma = \frac{\bar{f}(x,y)}{\sigma(x,y)}, \quad (x,y) \in I^2 \quad (1)$$

其中， $\bar{f}(x,y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(x,y)$  为行扫描或列扫描后得到直线的均值

$$\sigma(x,y) = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i(x,y) - \bar{f}(x,y))^2\right)}$$

为得到直线的标准差。

$R_\sigma$  值越大表示图像的平滑性越好，设定平滑阈值 LEV，当扫描得到的直线  $R_\sigma$  值大于 LEV 时，则认定该直线为线缆上的线，由此可以得到一组直线簇：

$$g(i) = \begin{cases} 1 & R_\sigma \geq LEV \\ 0 & R_\sigma < LEV \end{cases} \quad (2)$$

2) 周期性判断原则：



图 3 线缆周期区域取样

如图 3 所示，在线缆的周期区域进行取样，将图像  $f(x,y)$  扫描得到的每行图像灰度值同该行灰度均值  $\bar{f}(x,y)$  进行比较，得到一个新的函数：

$$h(j) = \begin{cases} 1 & f(x,y) \geq \bar{f}(x,y) \\ 0 & f(x,y) < \bar{f}(x,y) \end{cases} \quad (3)$$

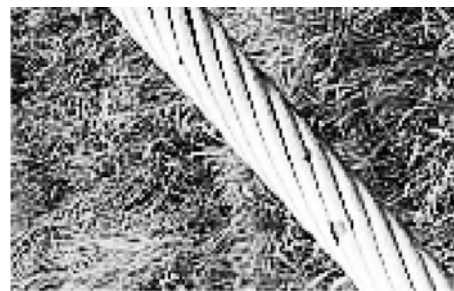
把  $h(j)$  每个低电平段的长度记为  $length(m)$ ，求出低电平段的均值  $mean = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m length(m)$ ，标准差

$$\sigma_m = \sqrt{\left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (length(i) - mean)^2\right)}$$

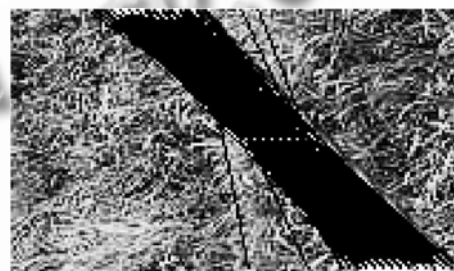
STD，当  $\frac{mean}{\sigma_m}$  大于 STD 时记为线缆上的线，小于 STD 则为非线缆上的线。

### 3.3 算法实现

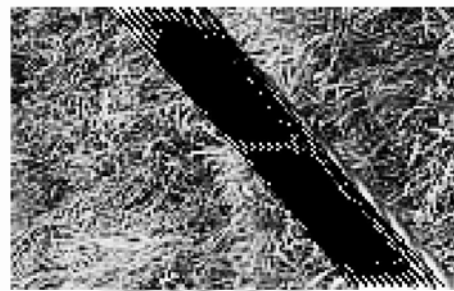
图 4 为算法实现过程：



(a) 原图像



(b) 列扫描得到直线簇



(c) 滤波后得到电缆线簇

图 4 算法实现图例

从图 4(a) 原图像中进行行扫描或列扫描获得符合约束条件的直线，扫描后得到如图 4(b) 所示的直线簇。将得到的直线簇的斜率进行统计，取主斜率所在的直线簇进行滤波，得到图 4(c)。取电缆的上下边界计算电缆宽度。设电缆未覆冰时直径为  $d_1$ ，所占像素为  $x_1$ ，电缆覆冰后直径为  $d_2$ ，所占像素数为  $x_2$ ，则覆冰厚度  $d$  为：

$$d = \frac{\left(\frac{x_2}{x_1} - 1\right)}{2} * d_1 \quad (4)$$

## 4 软件设计

### 4.1 软件开发环境

VisualDSP++ 是 ADI 公司针对 ADI 公司的 DSP

器件而专门开发的一种使用方便的开发平台,它支持ADI公司所有系列的DSP处理器,包括Blackfin系列。VisualDSP++通过图形窗口的方式与用户进行信息交换;采用直观的、易于使用的用户界面,针对处理器进行操作;集成了两大部分:集成的开发环境(IDE)和调试器(Debugger),提供了更强大的程序开发和调试功能。VisualDSP++具有灵活的管理体系,为处理器应用程序和项目的开发提供了一整套工具。VisualDSP++包含生成和管理处理器项目必须的所有工具。

## 4.2 系统工作流程

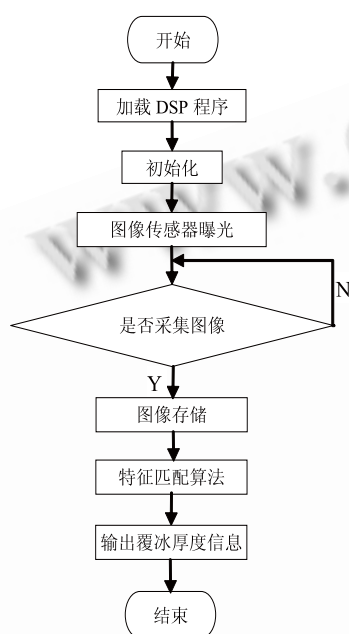


图5 系统流程图

系统流程图如图5所示。系统上电后,首先DSP加载FLASH中存储的程序,执行完初始化指令后,DSP通过I2C总线初始化MT9V032,使其工作在SLAVE模式。然后DSP通过外部总线接口对CPLD进行读写,使CPLD以一定的时序采集图像并通过DSP的PPI接口存入SDRAM。

## 5 结语

本文提出一种基于DSP与CPLD结构的图像采集和处理的方法,针对复杂背景下输电线路覆冰厚度的检测,采用线搜索算法对图像进行处理,为输电线路覆冰监测提供了新的依据。

## 参考文献

- 1 胡毅.输电线路运行故障的分析与防治.高电压技术,2007,33(3):1-8.
- 2 黄新波,孙钦东,程荣贵,等.导线覆冰的力学分析与覆冰在线监测系统.电力系统自动化,2007,31(14):98-101.
- 3 Rafael C.Gonzalez.数字图像处理.第2版.中文版.北京:电子工业出版社,2003.
- 4 周灿梅,陆佳政,向永嘉,黎福海,等.基于线搜索算法的输电线路覆冰厚度检测.仪表技术与传感器,2010,8:44-46.
- 5 Gao XQ, Peng TA. Line Detection Algorithm Based on Error Propagation. Proc. of the 26th Chinese Control Conference, 2007.493-496.
- 6 Chan TS, Yip RKK. Line detection algorithm. Pattern Recognition, 1996,2:126-130.

(上接第103页)

- 19(2):31-34.
- 3 陶永华,尹怡欣,葛芦生.新型PID控制及其应用.北京:机械工业出版社,1998.
- 4 Hilhorst RA, Van Amerongen J, et al. A supervisor for control of modeswitch processes. Automatica, 1994,30(8):1319-1331.
- 5 高国燊,余文杰,等.自动控制原理.广州:华南理工大学出版

社,2005.

- 6 李鹏波,胡德文,等.系统辨识基础.北京:中国水利水电出版社,2006.
- 7 Park SB, Park CH. Adaptive system identification using multilayer neural network and Gaussian potential function networks. The 1996 IEEE Int'l Conf on Neural Networks. Piscataway: IEEE, 1996,4:2261-2266.