

# 基于视觉信息的继电保护压板投退位置的自动识别研究

夏志宏, 罗毅, 涂光瑜, 龚超

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 如何有效地进行压板投退管理对电力系统安全稳定运行具有重要作用,但是压板的投退状态的获取是个难点问题,一直没有好的解决办法。该文利用遥视系统上传的视频图像,从拍摄的保护屏的视频流中抽出特定的静态有效帧,利用计算机图像识别算法自动识别设定的有效区域内的压板的投退状态,并将压板状态信息作为继电保护管理系统输入信息进行管理。利用现场采集的压板图像信息对匹配与比较算法进行识别研究表明,所提算法具有较高的准确性,抗干扰能力和实时性也很好。

**关键词:** 视频信号处理; 图像识别; 遥视; 继电保护管理系统

**中图分类号:** TM769      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897(2005)04-0040-05

## 0 引言

随着电网规模的不断扩大,电压等级较高的输电线路的主保护由过去的一套发展到了几套,保护压板(保护连片)由十几个发展到了几十个,压板的投退方式也由单一的投1端发展到投2~3端,压板与压板之间的联系随处可见。但是,长期以来压板管理是继电保护管理系统的一个薄弱环节,其难点和关键技术问题在于没有可行的方法获取压板真实的投退状态,造成了目前的继电保护整定和压板投退之间缺少必要的联系。因此,在实际工作中,往往要求从事继电保护整定工作的操作人员掌握多个变电站成百或上千保护压板正确的投退方式,而且目前保护定值单没有压板的投退说明,误投、误退、不按顺序投退保护压板的情况时有发生<sup>[1]</sup>。

为了防止对保护压板的误操作,目前主要的措施是严格规章制度,提高保护整定人员的素质和责任感,实行保护压板离线管理。显然这种方法要求操作人员必须掌握压板的正确投退方式。由于复杂的、不可控的人为因素,一旦保护压板出现误操作,则只有当发生相关事故后才能得以纠正,对电力系统安全运行危害极大。

为了获取压板真实的投退状态,文献[1]提出了一种从压板上设法引出开关量信息,通过开关量监测获取压板的投退状态的方法,每一个压板设置一个开关信息量。这样就使变电站增加了很多的开关量,需要大量的连接电缆,二次回路的复杂性增加,可靠性降低,实用上存在困难。

考虑到电力遥视系统在变电站得到了广泛的应用,遥视系统上传的图像信息中蕴含了大量的有用

信息,包括了压板的投退状态信息。利用计算机视觉技术,对遥视系统拍摄的保护屏图像进行识别处理,可以得到压板实际投退状态,这是一种解决上述问题的可行思路。本文基于这样一种思路,在现有的遥视系统视频数据流中抽出特定的静态有效帧,利用计算机识别算法,自动识别设定的有效区域内的压板的投退状态,将准确的识别信息融入继电保护管理运行中,以解决继电保护管理和运行亟待解决的重要问题。

## 1 继电保护压板位置图像的获取

为了对继电保护压板的投退状态进行自动实时识别,快速而清晰地获得现场压板图像是不可或缺的。目前最方便可行的方法是,从现有的变电站遥视系统获取所需的压板投退图像数据。目前在现场运行的远程视频监控系统,固化在视频压缩卡中的编码程序一般采用国际上通用MPEG系列视频编码标准,从MPEG实时视频数据流中抽取特定的有效帧,作为识别的原始图片。因而可以把压板的自动识别看作是遥视系统的高级应用和功能的扩展。

在变电站遥视系统中,一般配置有定焦摄像机、云台摄像机和快球摄像机,后两种摄像机都可选用有预置位的设备,将摄像机安置在适当位置,能够使摄像机的预置位能够得到最佳的压板的图片。也可设计成小车推动的方式,以便于对整排压板屏面进行扫描。图1(a)、(b)分别表示的是具有12个端子的标准压板位置图像和实录图像。毫无疑问,摄像机地点和方向的安置以及合适的光强,会在很大程度上影响获取图像的质量,从而会影响识别的准确率。

基于MPEG系列视频编码技术的是目前视频编

解码技术发展的主流方向。现场运行的遥视系统普遍采用的这种 MPEG 系列压缩技术是以图像组 GOP (Group of Picture) 为一个单元的,由 I 帧、B 帧和 P 帧构成。I 帧是参考帧,它能完全记载这一帧全部的图像数字数据;P 帧、B 帧则起着运动预测或补偿的作用,在视频流中提取 I 帧作为识别帧,用它来表示压板的静态图片,而不需要动态的细节。

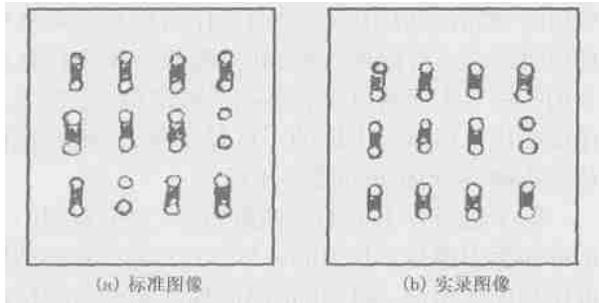


图 1 压板位置图像模型

Fig. 1 Model of relay pressed board image

提取 I 帧的实现很简单,由于 I 帧紧跟在组头之后,它在视频流中的出现有非常明显的标志(在 0x000001B8 之后),因而很容易在视频流中定位到 I 帧的位置,从而很容易得到压板屏的灰度图像。

## 2 压板位置图像的预处理

毫无疑问,噪声对比较结果会造成一定影响,因此需要对图像进行一定的去噪声处理。研究表明,在进行图像识别时,相对其它去噪声方法,空间域中工作的平滑滤波器是最方便有效的<sup>[3]</sup>。

在平滑滤波器中,常用的有邻域平均滤波和中值滤波。所谓邻域平均滤波,就是将模板中各个模板系数与对应像素灰度值相乘的结果取平均,然后赋给模板中心对应的像素,作为其灰度值,对于图 2 来说,就是取所有模板系数为 1/9。而中值滤波器是一种非线性滤波器,其主要工作步骤是: 将模板在图中漫游,并将模板中心与图中某个像素位置重合; 读取模板下各对应像素的灰度值; 将这些灰度值从小到大排成一列; 找出这些值里排在中间的一个; 将这个中间值赋给对应模板中心位置的像素。

前者通过像素的点运算使输入图像转换为直方图均匀分布(直观上就是平的)的输出图像,也就是使输出图像在每一灰度级上的像素点个数基本相同;后者是将输入图像转换为直方图给定的输出图。这两种直方图变换都可以增强图像的对比度,但更重要的是可以将多幅图像转换为灰度分布大致相同

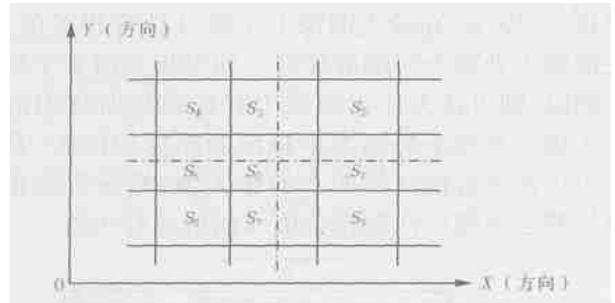


图 2 用 3 × 3 的模板进行空间滤波的示意图

Fig. 2 Diagram of space filtering by using 3 × 3 template

的图像,实现图像一定程度上的归一化。如果将压板位置图像的标准图像和被检图像都进行归一化,有利于后面的图像匹配和比较。

当摄像系统的镜头或者摄像装置没有正对着待拍摄景物时,被摄景物相应的图像就会发生平移、旋转、缩放等几何变形,前面得到的压板位置图像也存在这个问题。为了校正这类图像的变形,对图像进行几何变换是非常必要的。对于位置的变换,如果知道了输入图像的坐标系与输出图像的坐标系之间的函数关系,用坐标变换的方法就能实现这种几何校正<sup>[4]</sup>。

假设压板屏面图像的变形是线性的,则变形图像的  $x - y$  坐标和未变形图像的  $x - y$  坐标之间的关系可由下式表示:

$$\begin{cases} x = a_1x + b_1y + c_1 \\ y = a_2x + b_2y + c_2 \end{cases} \quad (1)$$

因为两者之间的函数关系用式(1)来表示,所以在变形图像和未变形的图像之间只要知道了 3 个对应点的关系,就可以联立出一组方程式,求解这个方程组就可以确定未知参数  $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ 。

## 3 压板位置图像的匹配与比较算法

对图像的匹配可以是整幅图像与整幅图像间的匹配,也可以是一个较小的图像与一幅较大图像中一部分(子图像)的匹配。前者的目的主要是确定两幅图像的相似度。后者的目的可分两类:一类是确定在大图像中是否存在小图像,另一类是确定小图像在大图像中的位置。

图像匹配中常用的方法是模板匹配,也有人称为基于面积或邻域的匹配。在模板匹配中带匹配的两个表达都是图像。在模板匹配中如果要检测的是某种目标,常需对待检测的目标形状有一定的知识以建造合适的模板。在无先验知识时,模板一般是正方形的。较大图像与子图像匹配的主要工作是将

模板(子图像)在较大图像上平移并计算相关值,相关值最大处即为匹配最佳处。如果相关值大于给定的阈值,则可认为在大图像中存在模板所代表的图像区域。而对于两幅大小相同的图像的匹配,其主要工作就是直接计算两者的相关值,然后将此相关值与其它图像的匹配相关值或阈值进行比较。

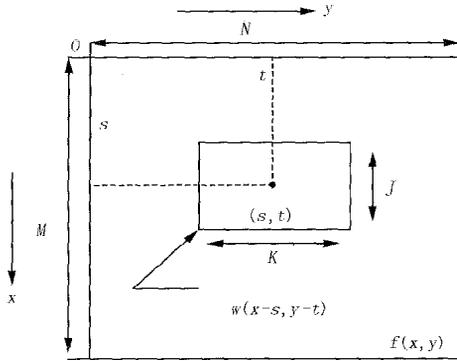


图3 模板匹配示意位置

Fig. 3 Diagram of template match position

现在考虑要找一个尺寸为  $J \times K$  的模板图像  $w(x, y)$  与一个  $M \times N$  的大图像  $f(x, y)$  的匹配。设  $J < M$  和  $K < N$ 。尽管可借助矢量形式进行相关计算,但直接使用图像形式更为直观。在最简单的情况下,  $f(x, y)$  和  $w(x, y)$  之间的相关函数可写为:

$$c(s, t) = \sum_x \sum_y f(x, y) w(x-s, y-t) \quad (2)$$

$(s=0, 1, 2, \dots, M-1; t=0, 1, 2, \dots, N-1)$

式(2)中的求和是对  $f(x, y)$  和  $w(x, y)$  相重叠的图像区域进行的。图3给出了相关值计算的示意图,其中假设  $f(x, y)$  的原点在左上角,  $w(x, y)$  的原点在其中心。对任何在  $f(x, y)$  中给定的位置  $(s, t)$ , 根据式(1)可以算得  $c(s, t)$  的一个特定值。当  $s$  和  $t$  变化时,  $w(x, y)$  在图像区域中移动并给出函数  $c(s, t)$  的所有值。  $c(s, t)$  的最大值指示与  $w(x, y)$  最佳匹配的位置。

式(2)所定义的相关函数有一个缺点,即对  $f(x, y)$  和  $w(x, y)$  幅度值的变化比较敏感,例如当  $f(x, y)$  的值加倍时,  $c(s, t)$  的值也会加倍。为了克服这个问题,可定义如下的相关系数:

$$r(s, t) = \frac{\sum_x \sum_y [f(x, y) - \bar{f}(x, y)] [w(x-s, y-t) - \bar{w}]}{\left\{ \sum_x \sum_y [f(x, y) - \bar{f}(x, y)]^2 \sum_x \sum_y [w(x-s, y-t) - \bar{w}]^2 \right\}^{1/2}} \quad (3)$$

其中:  $s=0, 1, 2, \dots, M-1; t=0, 1, 2, \dots, N-1; \bar{w}$  是  $w$  的均值(只需算一次);  $\bar{f}(x, y)$  是  $f(x, y)$  中与  $w$  当前位置相对应区域的均值。式(3)中的求和是对

$f(x, y)$  和  $w(x, y)$  的共同坐标进行的。因为相关系数已尺度变换到区间  $[-1, 1]$ , 所以其值与  $f(x, y)$  和  $w(x, y)$  的幅度变化无关。

在具体进行压板位置图像的匹配时,首先通过拍摄一些压板位置图像进行试算后确定一个阈值,然后通过检测压板屏面对角顶点的方法计算出实录压板位置图像中屏面所占大小,并将其从图像中剪切出来,然后以剪切出来的图像作为模板与标准压板位置图像进行模板匹配,如果模板匹配中计算出来的相关值大于阈值,则判定标准图像中存在实录图像中压板屏面所占据的子区域图像,即此时压板位置正确,否则压板位置不正确。

除了进行以上的图像匹配以外,为了检测出当前的压板图像是否与当前运行方式对应的正确的标准压板图像相符,可以将正确的标准图像与被检图像进行图像的算术减法运算,减法运算的结果就是含有实录图像与标准图像不符部分以及压板轮廓噪声的差分图像。这些不一致的部分就是要检测的对象,它们具有一定的灰度值范围,只要设定比轮廓噪声级别高的阈值,就可以检测到这些不一致的部分。一般来说,这样处理之后可以得到如图4所示的差分图像灰度级在水平方向的投影曲线。在图4中,以某个灰度等级基准为中心,在上方出现正的数据为漏投、误退某个压板等误操作,而在下方出现负的数据相应为误投某个压板的误操作。

通过分析差分图像的灰度直方图可以发现,如果被检图像与标准图像相符,其差分图像直方图的包络近似为均值是0的正态分布函数,并且正态分布函数的方差很小,即差分图像的灰度值服从正态分布。如图5所示,此时差分图像中大部分像素灰度值为0或接近于0,灰度值越远离0的像素个数越少,如果被检图像与标准图像不相符,差分图像直方图包络将呈一种双峰分布或多峰分布的曲线。

因此可以通过分析差分图像直方图的方法来判断被检图像与标准图像是否相符。

#### 4 保护压板的识别算例及性能分析

根据上面提出的图像匹配的识别算法,针对如图6所示的压板位置标准图像模型和如图7所示的两种实录压板位置图像进行了程序编写工作,利用VC++ 6.0平台开发了一个基于上述思想的识别程序。

在 Windows 2000 Professional 操作系统、CPU Celeron 566 MHz、内存 128 M 的 PC 机上基于文中算

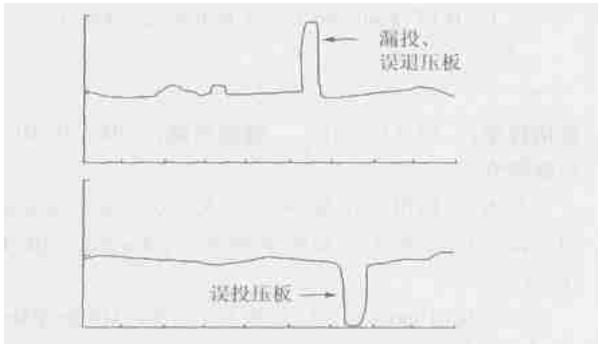


图4 标准图像与实录图像的差分图像  
灰度值的一维展开曲线

Fig. 4 One dimension curve of ash degree for difference image of standard and recording images

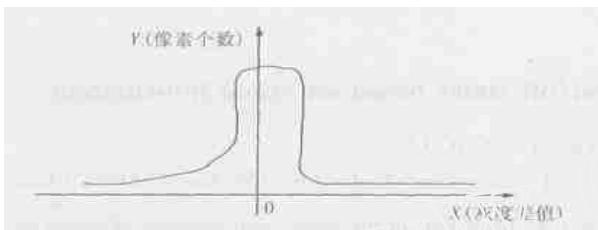


图5 差分图像灰度值分布

Fig. 5 Distribution of ash degree for difference image

法程序进行识别计算,识别上述  $640 \times 480 \times 24$  bit RGB 图片耗时 15 ms。

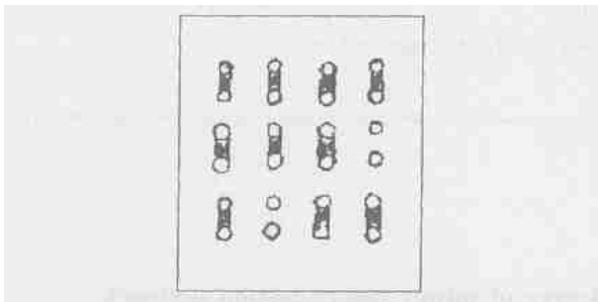


图6 压板位置标准图像

Fig. 6 Standard image of relay pressed board position

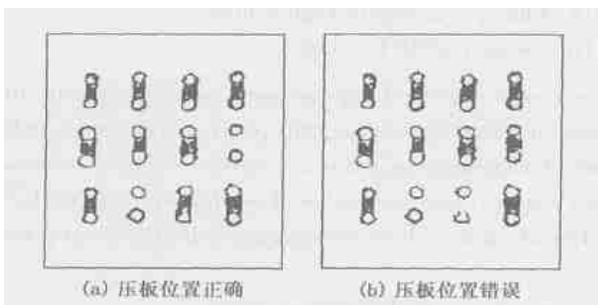


图7 实录压板位置图像中的压板屏面子区域图像

Fig. 7 Subarea image of recording relay pressed board surface

为了测试噪声对上述算法的影响,实验引入随

机噪声来评价该方法的性能,通过调节图片的信噪比,用开关状态最大匹配度  $Y$  (由程序计算) 随信噪比  $X$  (dB) 的变化曲线表示算法的退化曲线,如图 8 所示。

曲线表明,该算法具有较好的抗噪能力,能够适应工业现场复杂的噪声干扰,并且实时性也很强。

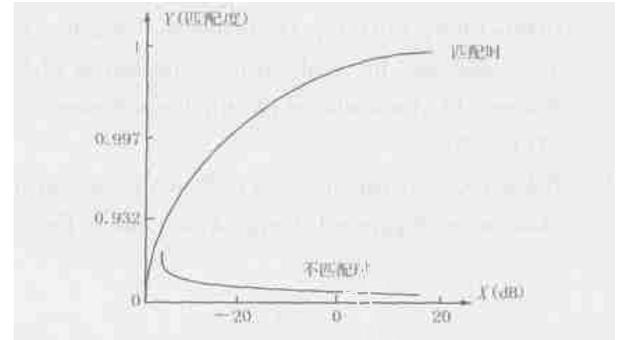


图8 算法退化曲线

Fig. 8 Degeneration curve of arithmetic

## 5 结语

对基于视觉信息的保护压板投退位置的自动识别进行研究的意义不仅在于从技术手段方面一定程度地防止了运行人员难以充分和及时地掌握压板状态而造成的继电保护误动作事故,而且为当前电力系统中许多单纯依靠电信号或缺乏电信号的问题提供了一种新颖、直观并且有效的信息采集和处理的思路。目前在电力系统中遥视系统逐渐普及,为这种新兴的信息采集方式提供物质基础,自动识别技术在各种设备在线检测<sup>[5]</sup>、状态检修、开关状态检测、移动检测中也已经得到运用。技术发展的趋势是视频信息逐渐会和继电保护系统、能量管理系统接口和融合,可能构成一个全新的多媒体电力管理和控制系统。

## 参考文献:

- [1] 程传金. 继电保护连片管理办法[J]. 电力安全技术, 1999, (1): 4.  
CHENG Chuanjin. The Management of Relay Pressing[J]. Electrical Safety Technology, 1999, (1): 4.
- [2] 张次衡. 视觉信息在电力系统自动化中应用的探讨[J]. 电网技术, 1997, 21(4): 35-37.  
ZHANG Ci-heng. Application of Visual Information in Automation of Electric Power System[J]. Power System Technology, 1997, 21(4): 35-37.
- [3] 李在铭. 数字图像处理压缩与识别技术[M]. 成都: 电

子科技大学出版社,2000.

LI Zai-ming. Digital Image Processing, Compression and Recognition Technology [M]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China Press,2000.

- [4] 龚超,罗毅,涂光瑜. 计算机视觉技术及其在电力系统自动化中的应用[J]. 电力系统自动化,2003,27(1)-(2).  
GONG Chao, LUO Yi, TU Guang-yu. Computer Vision Technology and Its Application to Automation of Power Systems [J]. Automation of Electric Power Systems,2003,27(1)-(2).

- [5] Nakano S. External Diagnosis of Power Transmission and Distribution Equipment Using X-ray Image Processing[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2000,15(2):575-579.

收稿日期: 2004-06-11; 修回日期: 2004-10-10

作者简介:

夏志宏(1979-),男,硕士研究生,研究方向为计算机视觉识别技术在电力系统中的应用;E-mail: xzh-hust@163.com

罗毅(1966-),男,副教授,从事 EMS 和 DMS 的研究;

涂光瑜(1941-),男,教授,博士生导师,长期从事电力系统运行与控制研究。

### Image auto-recognition of relay pressed board in on/off states based on visual information

XIA Zhi-hong, LUO Yi, TU Guang-yu, GONG Chao

(College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** That how to manage the on/off states of relay pressed board is very important to the safety and stability of power systems, but it is difficult to get its on/off states, which has not been solved all through. With upsent images of remote vision system, a static frame is drawn out from video signal of recorded protection screens, the auto-recognition of on/off states of relaying pressing board at the setting area is implemented by the arithmetic of computer image, and the recognition of on/off information is put to relay protection management system as the input data. The matching and comparing arithmetic research making use of local images indicates that this arithmetic has the capability of high veracity, anti-jamming and good real time.

**Key words:** video signal processing; image recognition; remote vision; relay management system

(上接第 39 页 continued from page 39)

### Study on damping rate and out-of-resonance degree of power compensation network

CHEN Zhong-ren<sup>1,2</sup>, WU Wei-ning<sup>2</sup>, CHEN Jia-hong<sup>2</sup>, ZHANG Qin<sup>2</sup>

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Wuhan High Voltage Research Institute, State Power Grid Co., Ltd, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Damping rate and out-of-resonance degree are two important parameters of power compensation network. To resolve the existing problems on these two parameters, such as virtual earth and three-phase unbalanced voltages, this paper analyses some influence on power compensation network operation characteristics due to the changes of damping rate and out-of-resonance degree in some aspects, like neutral-to-ground voltage, unbalanced degree on the three-phase voltages, and component of residual current. It also gives reasonable formulae for setting damping rate and out-of-resonance degree. The adoption of these research methods also solves actual operation of arc suppression coils concerned.

**Key words:** power compensation network; arc-suppression coil; damping rate; out-of-resonance degree