基于红外多谱技术的铁路输电线路故障检测

针对当前铁路输电线路故障检测误差大、准确度低等不足，提出了基于红外多谱的铁路输电线路故障检测方法。首先利用红外多谱技术采集铁路输电线路图像，从图像中提取铁路输电线路故障特征，然后采用主成分分析算法对铁路输电线路故障特征进行筛选，得到最优检测特征向量，最后采用支持向量机对铁路输电线路故障检测样本进行学习，得到铁路输电线路故障检测的分类器，并进行了铁路输电线路故障检测验证性实验，该方法的铁路输电线路故障检测率超过了90%，铁路输电线路故障的误检率和漏检率大幅度减少，故障检测时间短，整体效果要优于当前其他检测方法，是一种效率高、结果优的铁路输电线路故障检测方法。

郭晓峰/中国铁建电气化局集团北方工程有限公司

郭晓峰/高级工程师

关键词/Keywords

红外多谱技术 · 铁路输电线路 · 故障检测 · 主成分分析算法 ·

0 引言

随着电力技术的不断成熟，铁路电力系统不断完善，出现许多铁路输电线路，在实际工作的过程中，铁路输电线路不可避免会出现故障，一旦铁路输电线路出现故障，铁路电力系统难以正常工作，影响铁路部门的正常运营，从而带来一定的经济损失，因此对铁路输电线路故障进行检测研究十分关键。

铁路输电线路故障检测可以划分为两个阶段：手工阶段和智能化阶段。手工阶段主要由专业人员对铁路输电线路工作状态进行识别和分析，该方法的检测成本高，全凭工作人员的经验确定，使得铁路输电线路故障检测结果具有一定盲目性，而且检测结果极不可靠；智能化阶段是人工智能技术、信息技术以及自动化技术不断融合的结果，主要有基于小波分析的铁路输电线路故障检测方法、基于分形理论的铁路输电线路故障检测方法以及基于神经网络的铁路输电线路故障检测方法。它们的铁路输电线路故障检测结果要明显优于手工方法，而且检测结果更加可靠。在实际应用中，它们同样存在各自的局限性，如铁路输电线路故障检测错误率高，故障检测时间长，出现大量障漏检现象，铁路输电线路故障检测结果有待进一步改善。

针对当前铁路输电线路故障检测误差大、测量准确度低等不足，提出了基于红外多谱技术的铁路输电线路故障检测方法，并进行了铁路输电线路故障检测仿真实验。结果表明，相对于当前铁路输电线路故障检测方法，本文方法的铁路输电线路故障检测率更高，减少了铁路输电线路故障的误检率和漏检率，铁路输电线路故障检测时间短，铁路输电线路故障检测可信度高，是一种可以保证铁路电力系统正常工作的新技术。

1 基于红外多谱技术的铁路输电线路故障检测思路

基于红外多谱技术的铁路输电线路故障检测思路为：首先利用红外多谱技术采集铁路输电线路图像，对铁路输电线路图像进行预处理，提取铁路输电线路故障特征；然后采用主成分分析算法对铁路输电线路故障原始特征集合进行筛选，选择最

优的铁路输电线路故障检测特征向量；最后采用支持向量机对铁路输电线路故障检测样本进行学习，得到铁路输电线路故障检测的分类器，具体过程如图1所示。

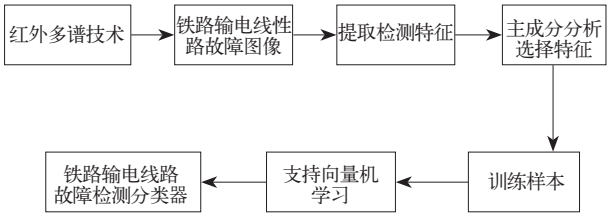

图1 红外多谱技术的铁路输电线路故障检测过程

2 红外多谱技术的铁路输电线路故障检测方法具体设计

2.1 红外多谱技术采集输电线路状态图像

采用红外多谱技术采集铁路输电线路红外图像，然后采用数学形态方法对原始铁路输电线路红外图像进行处理，主要包括腐蚀操作与膨胀操作，使得原始铁路输电线路红外图像质量更高。

2.2 提取输电线路状态特征

当铁路输电线路出现故障时，会出现不同特征，图像颜色矩也会发生相应变化，因此本文采用图像的颜色矩作为铁路输电线路故障检测特征。铁路输电线路故障图像的第i通道、第j个像素为p_{ij}，则一阶颜色矩和二阶颜色矩计算公式为

$$E_i=\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}p_{ij} \tag{1}$$

$$\sigma_i=[\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}(p_{ij}-E_i)^2]^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

式中，N为铁路输电线路故障图像像素总数。

由于铁路输电线路故障图像有3个通道，像素数量通常超过200，提取的铁路输电线路故障检测特征数量很大，如果全部特征用于铁路输电线路故障检测，那么检测时间很长，难以满足实际应用的要求，本文采用主成分分析算法对原始特征进行筛选，选择最有用的铁路输电线路故障检测特征，减少铁路输电线路故障检测时间。

2.3 筛选电线路状态特征

主成分分析算法采用K－L变换，对原始铁路输电线路故障检测特征进行投影操作，然后在投影空间对特征进行重建，使特征之间的冗余量最小，减少特征向量数量。假设x表示原始铁路输电线路故障检测特征向量，共有n维，则

$$y=\sum_{i=1}^{n}\boldsymbol{A}_i x_i=\boldsymbol{A}^T x \tag{3}$$

式中，$\boldsymbol{A}$为单位向量，且满足条件为

$$\left\|\boldsymbol{A}\right\|=(\boldsymbol{A}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{A})^{1/2}=1 \tag{4}$$

铁路输电线路故障检测特征重建误差为

$$\begin{aligned}E[y^2]&=E[(\boldsymbol{A}^{\mathrm{T}}x)^2]\\&=\boldsymbol{A}^{\mathrm{T}}E[xx^{\mathrm{T}}]\boldsymbol{A}\end{aligned} \tag{5}$$

2.4 设计铁路输电线路故障检测分类器

设铁路输电线路故障检测数据集为$\{x_i,y_i\}$，$i=1,2,\cdots,n$，x_i表示铁路输电线路故障检测特征向量，y_i表示对应的铁路输电线路故障类型，支持向量机的最优分类超平面为

$$f(x)=\omega^{\mathrm{T}}\boldsymbol{\Phi}(x)+b \tag{6}$$

由于铁路输电线路故障检测是一个线性不可分问题，因此采用二次规划方法将其转变为二次优化问题，具体为

$$\begin{aligned}&\min J(w,\xi)=\frac{1}{2}\left\|w\right\|^2+C\sum_{i=1}^{n}\xi_i\\&\text{s. t.}\\&\begin{cases}y_i(w\boldsymbol{\Phi}(x_i)+b)\geqslant 1-\xi_i\\ \xi_i\geqslant 0\ i=1,2\cdots,n\end{cases}\end{aligned} \tag{7}$$

式中，C为错分样本的惩罚因子。

引入拉格朗日乘子a_i得到铁路输电线路故障检测判别函数为

$$f(x)=\mathrm{sgn}(\sum_{i=1}^{n}\alpha_i y_i(\boldsymbol{\Phi}(x)\boldsymbol{\Phi}(x_i))+b) \tag{8}$$

采用核函数$K(x_i,x)$代替$(\boldsymbol{\Phi}(x)\boldsymbol{\Phi}(x_i))$，这样铁路输电线路故障检测判别函数变为

$$f(x)=\mathrm{sgn}(\sum_{i=1}^{n}\alpha_i y_i k(x_i x)+b) \tag{9}$$

根据铁路输电线路故障检测判别函数就可以实现全部铁路输电线路故障分类和检测。

3 铁路输电线路故障检测的应用实例分析

3.1 铁路输电线故障检测样本数据

为了分析基于红外多谱技术的铁路输电线路故障检测方法的可行性，采有具体的数据进行铁路输电线路故障检测的仿真实验，铁路输电线路状态共有五种状态，铁路输电线路状态及样本数量如表1所示。为了分析红外多谱技术的铁路输电线故障检测的优越性，选择传统故障检测方法进行对比测试。

表1 铁路输电线路状态及样本数量

标签	铁路输电线路状态	样本数/个
1	断路故障	50
2	短路故障	40
3	过电压故障	40
4	过电流故障	50
5	正常状态	500

3.2 铁路输电线路故障检测率对比

基于红外多谱技术的铁路输电线路故障检测方法与传统方法的故障检测率统计结果如图2所示。从图2可以看出，红外多谱技术的铁路输电线故障检测率超过了90%，而且实际应用要求为85%以上，因此本文方法可以很好满足该要求，而传统检测方法的铁路输电线故障检测率低于85%，没有太多的实际应用价值。对比结果可以知道，红外多谱技术能够降低铁路输电线路故障的误检率。

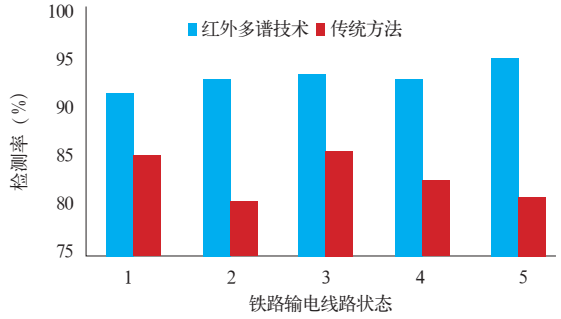

图2 铁路输电线故障检测率

3.3 铁路输电线路故障的漏检率对比

基于红外多谱技术的铁路输电线故障检测方法与传统方法的故障漏检率如图3所示。从图3可知，红外多谱技术的铁路输电线路故障漏检率低于传统检测方法，改善了铁路输电线路故障检测效果。

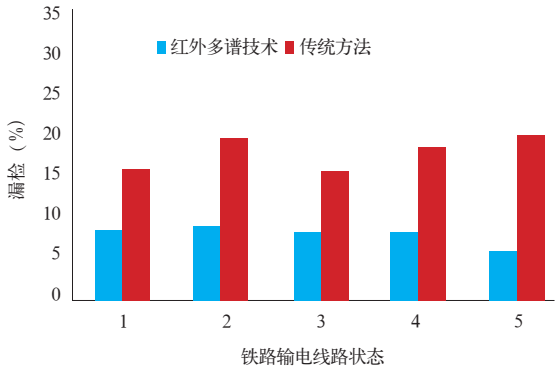

图3 铁路输电线故障的漏检率

3.4 铁路输电线故障检测效率对比

铁路输电线故障检测时间如表2所示。由此可以看出，本文铁路输电线故障检测方法比传统方法的铁路输电线故障检测时间少，铁路输电线故障检测效率得到了改善，可以用于效率要求比较高的铁路输电线故障检测。

表2 铁路输电线故障检测时间

（单位：s）

铁路输电线路状态	红外多谱技术	传统方法
断路故障	3.51	6.03
短路故障	4.48	6.33
过电压故障	4.58	6.71
过电流故障	4.33	5.38
正常状态	3.35	5.45

4 结束语

针对当前铁路输电线路故障检测中存在的缺陷，设计了基于红外多谱技术的铁路输电线路故障检测方法，在相同实验环境下与当前方法进行对比测试，结果表明，本文方法克服了当前方法存在的一些缺陷，通过主成分分析算法减少了铁路输电线路故障检测特征，加快了铁路输电线路故障检测速度，引入支持向量机对铁路输电线路故障进行分类检测，提高了检测率，铁路输电线路故障的误检率和漏检率要小于对比铁路输电线路故障检测方法，可以快速、准确实现铁路输电线路故障检测，为铁路输电线路管理者提供了有价值参考信息。

(收稿日期：2018－08－14)EA