

[电能质量]

基于迁移学习的电能质量扰动分类方法研究

文/国网上海市电力公司 纪坤华 廖天明 陈 新

电能质量问题是当前配电网研究的热点。针对电能质量扰动识别困难的问题,提出一种基于迁移学习的电能质量扰动分类方法。试验结果表明,迁移学习方法对电能质量扰动具有良好的分类准确性和抗噪性。

电力系统中电能质量扰动种类繁多,受噪声影响,而且还可能多种扰动复合,导致电能质量扰动分类难度很大。电能质量扰动的准确识别,是进行电能质量分析与评估的前提和基础,为配电网中电能质量的管理和治理提供辅助决策。

本文引入迁移学习对电能质量扰动进行分类,克服了传统分类算法的上述缺陷,可大大提高识别精度。相对于电能质量扰动波形集,ImageNet数据集包含120万张训练图片,在数据量和种类上都更为丰富。因此本文用ImageNet数据集作为源数据集,通过卷积神经网络模型AlexNet提取到丰富的图像特征信息,进而迁移到电能质量扰动识别的问题上。试验证明,本文模型可大幅提高识别精度,且抗噪性能良好。

目标域模型的建立

在电能质量扰动识别中,能够收集到的带标签数据是非常有限的。如果直接使用样本数量较少的数据集训练一个卷积神经网络,由于网络的参数数量较大,极易产生过拟合现象。针对上述问题,本文将迁移学习与AlexNet模型相结合,即源域DS为ImageNet图像数据集,DT为电能质量扰动波形集。将在同为图像数据的ImageNet数据集上预训练的AlexNet模型中的特征提取层迁移到电能质量扰动波形数据集的分类任务中,然后随机初始化Softmax分类层的参数并用电能质量波形进

行训练,完成对电能质量扰动波形的识别。

案例分析

1. 电能质量扰动模型

在MATLAB环境中随机产生暂升、暂降、中断、谐波、尖峰、切痕、闪变、振荡和脉冲这9种单一扰动以及17种双重扰动,共计26种电能质量扰动信号。每类各产生2 000个样本,信号基波频率 f_0 为50 Hz,采样频率 f_s 为6.4 kHz, T 为工频周期, $u(t)$ 为单位阶跃函数, t_1 和 t_2 分别为扰动起始和终止时刻,信号样本长度为10周期。由于实际电能质量数据会受到噪声的影响,所以在仿真信号上分别叠加信噪比为20 dB、30 dB、40 dB和50 dB的高斯白噪声。

扰动信号产生的原则为:单一扰动按扰动定义和特点可分为四大类:电压暂降、电压暂升、电压中断、尖峰、切痕为第1类扰动;振荡和脉冲为第2类扰动;谐波和闪变各自为一类扰动,同属于一个类别的扰动不能相互混合。

2. 测试结果

相对于电能质量扰动波形数据集,ImageNet数据集在数据量和种类上都非常丰富,ImageNet的图像分类数据集ILSVRC2011中训练集包含1 229 413张图片,验证集中包含50 000张图片,测试集中包含100 000张图片。尽管ImageNet中没有大量的电能质量扰动波形图像,但是,由于电能质量扰动

识别同样是利用边缘、纹理等图像特征，因此，迁移学习模型迁移的是卷积神经网络强大的特征提取能力。利用ImageNet作为源数据集可以提取到丰富多样的图像空间特征信息，进而迁移到电能质量扰动识别的问题上。

根据AlexNet模型训练的要求，电能质量扰动信号波形图像的尺寸为 $227 \times 227 \times 3$ ，网络模型训练算法采用动量随机梯度下降法（SGDM），训练参数设置如下：初始学习率为0.000 1，最大训练周期数为8，权重因子为50，偏置因子为50。采用十折交叉验证完成对模型的测试，即每类中轮流取200个波形样本作为测试数据，其余的1 800个样本作为训练数据，以10次训练测试结果的平均值作为最终识别准确率。

(1) 单一扰动

对9种单一扰动信号进行识别，其训练过程如图1所示，分类结果如表1所示。

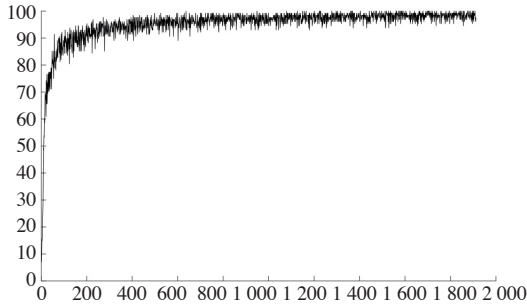


图1 单一扰动分类训练过程

表1 单一扰动分类结果

扰动类型	文献	分类准确率 (%)				
		无噪声	20 dB	30 dB	40 dB	50 dB
暂升 (C1)	96	100	100	100	100	100
暂降 (C2)	98	100	100	100	100	100
中断 (C3)	94	100	100	100	100	100
谐波 (C4)	98	100	100	100	100	100
尖峰 (C5)	无	100	100	100	100	100
切痕 (C6)	无	98	96	97	97.5	97.5
闪变 (C7)	100	100	100	100	100	100
振荡 (C8)	96	100	100	100	100	100
脉冲 (C9)	100	100	100	100	100	100
平均准确率 (%)	97.7	99.78	99.56	99.67	99.73	99.72

由表1可以看出，本文方法和传统数学变换方法对于单一扰动的识别均有较高的准确率，该模型较数学变换准确率略有提高。由于单一扰动信号比较简单，通过数学变换提取特征进行分类已经具有不错的效果，而本文模型的优势更多体现在对复杂的复合扰动的分类上。

(2) 复合扰动

对17种双重扰动的训练过程如图2所示，分类

结果如表2、表3所示。

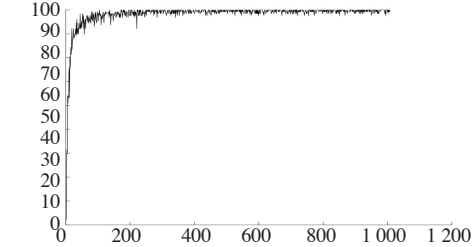


图2 双重扰动分类训练过程

表2 双重扰动仿真测试结果

扰动类型	文献	分类准确率 (%)				
		无噪声	20 dB	30 dB	40 dB	50 dB
C1&C4	94	97.5	96	96.5	96	96.5
C1&C7	94	100	100	100	100	100
C1&C8	84	99	98	99	99	99
C1&C9	80	98.5	97.5	98	98	98
C2&C4	96	99.5	98	99	99	99
C2&C7	90	96	96	96	96	96
C2&C8	84	97.5	97	97	97	97
C2&C9	86	100	100	100	100	100
C3&C4	78	99	97.5	98	98	99
C3&C7	80	99.5	98	98	98	98
C3&C8	88	99	98	99	99	99
C3&C9	82	100	100	100	100	100
C4&C7	92	100	100	100	100	100
C4&C8	88	95	94	95	95	95
C4&C9	86	98	97	97	97	98
C7&C8	96	100	100	100	100	100
C7&C9	98	100	100	100	100	100
平均准确率 (%)	88	98.74	98.06	98.38	98.35	98.5

表3 扰动分类结果

扰动类型	文献	本文模型
单一扰动	97.7	99.7
双重扰动	88	98.41
平均准确率 (%)	92.85	99.1

从表2、表3可知，本文分类模型的分类准确率显著高于数学变换模型，平均准确率达99.1%。复合扰动时，由于多个扰动之间互相干扰，使得通过数学变换显式地人工提取特征难度很大，并且步骤繁琐复杂，导致分类准确率低，而本文迁移学习模型可以隐式地从训练数据中进行学习，克服了传统数学变换提取波形特征的缺点，使得准确率大大提高。而且，当叠加不同信噪比的高斯白噪声时，本文模型仍有较高的识别准确率，说明本文模型抗噪性能良好。

结束语

本文所提出分类模型能够有效的提高电能质量扰动波形的分类精度，显著优于传统分类模型。EA

(收稿日期：2018.03.30)

(编辑：白文亭)