基于改进双谱信号和CNN网络的信号分类

**摘 要：**为解决电磁频谱中的未知信号分类和身份识别问题，提出了一种改进传统双谱信号和卷积神经网络（CNN网络）的信号分类方法。对双谱信号，通过实验得到积分路径和识别率的性能曲线，以此选定最佳积分路径个数，通过重定义巴氏距离（Bhatta-charyya距离），剔除掉对识别效果贡献影响小或起负作用的积分路径，从而得到具有最大比重的双谱区间，结合时域分析改进双谱信号，以改进后的双谱信号作为输入，利用CNN网络进行个体分类。

**关键词：**双谱信号、卷积神经网络（CNN）、改进矩形积分双谱、巴氏距离（Bhatta-charyya距离）

**0 引言**

近年来，各种电子器件变得越来越小、越来越智能，电磁干扰也越来越普遍，而随着科学技术的飞速发展，电磁设备逐渐成为大型集成系统，电磁干扰产生的影响也越来越大，且混合信号组成成分也越来越复杂。为了提升系统设备的可靠性，在电子器件的设计制造过程中必须加以考虑造成的电磁干扰影响。为了有效定位干扰源，需从混合信号中分离提取出干扰信号。针对电磁混合信号中的未知部分进行分类和识别是一个重要的研究方向，特别是在军事对抗中有着重要影响。

目前，常用的信号分类识别方法有特征参数法[1]、功率谱法[2]、基于小波变换[3]等方法，但这些信号或受信噪比影响大，或以牺牲偏差和分辨率为代价去改善方差性能，或对类间识别效果不理想需结合其他方法使用。双谱信号是一种高阶统计量，它完整的保留了信号的幅度、频率和相位等信息，因此具有时移不变性、尺度变化性和相位保持性并且可以抑制任何高斯有色噪声的特点，而被广泛用于信号特征提取。但是由于双谱信号是二维函数，如果直接使用信号的全部双谱作为信号特征将导致计算量巨大，一般采用积分的方法将二维函数转变成一维函数，将转换后的双谱统称积分双谱。常用的有四种方法：径向积分双谱（RIB）、轴向积分双谱（AIB）、圆周积分双谱（CIB）和矩形积分双谱（SIB）。

目前，常用的信号分离器有最近邻（KNN）[4]，BP神经网络[5]，支持向量机（SVM）[6]等等。最近邻（KNN）有个致命缺点就是计算消耗相当大，而且不适合对高维信号的应用；BP神经网络的学习速度慢而且网络训练失败的可能性比较大；SVM通过核函数将低维不可分的样本扩展到高维寻找合适的超平面使之线性可分，但是不支持双谱信号的二维模板匹配问题。随着深度学习的发展与兴起，卷积神经网络（CNN）在图像识别[7]、语音识别[8]、人脸识别[9]等方面效果良好因而应用广泛。在文献[10]中已经将其引入信号分类识别领域，针对双谱信号的“维数灾难”问题开辟了新思路，效果良好。

本文是在文献[10]的采用CNN进行电磁干扰信号分类的基础上进行改进，通过结合文献[11]中对双谱信号的改进处理方法来达到对方法的优化。本文将首先介绍双谱信号，然后介绍其改进优化方式与算法流程，最后设计实验进行验证。

**1双谱信号**

对连续随机变量x，假定其概率密度为，则其第一特征函数可定义为：

其中，根据定义，第二特征函数为第一特征函数的自然对数：

对随机变量x，它的k阶累积量可定义为：

同样道理，对于k维随机向量，假设其联合概率密度函数为，则其第一联合特征函数为：

相应地，k维随机向量X的第二联合特征函数定义为：

k维随机向量X的r阶联合累积量可定义为：

其中：，当时，可得到k阶累积量，即：

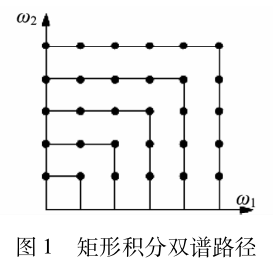
假设有随机过程，令，，其k阶累积量定义为：

假设绝对可和，则的k阶谱定义为的k-1维傅里叶变化，即：

通常称三阶谱为双谱，定义为[12]：

式中：为的三阶相关系数，上标\*表示复共轭。

但是直接使用这个三阶函数需要配合计算比较复杂的二维匹配模板，这会导致维数过高，影响算法的准确度和运算速度。为了解决这个问题，有关学者提出对双谱信号进行积分的方法，将二维函数变成一维函数处理。常用的积分方法有：径向积分双谱（RIB）、轴向积分双谱（AIB）、圆周积分双谱（CIB）和矩形积分双谱（SIB）。为了同时得到信号的幅度和相位的信息，一般采用矩形积分路径（SIB）对双谱信号进行积分[13]。因为SIB的积分路径是以原点为中心的正矩形，通过均匀采样进行积分求和，可避免出现重复使用或遗漏双谱值的现象。



**2 SIB改进方式与算法流程**

**2.1 SIB改进方式**

传统SIB计算方法如下：

给定T类电磁干扰源，标记第i类干扰源设备的第j个信号为，其中k=1,2,3,…,，用l=1,2,3，…,T来标识干扰源类别，为第l类干扰源设备发出的信号样本的数量，则:

计算信号的傅里叶变化，其中，C是信号的长度，Z表示整数域。

计算信号的直接双谱：

根据图1所示矩形积分路径计算的SIB特征。

因为在所采用的矩形积分路径中，每一条积分路径对表征干扰源信号的贡献都是不同的，有一些作用一般甚至起负作用的积分路径也被用到了，这导致了识别率的降低。传统处理方法是利用选择双谱的方法，选择出具有最强类可分离度的双谱作为信号的特征参数。但根据Fisher可分离度的定义可以知道，选择双谱存在一个缺点，即当某两类信号的双谱与信号总体双谱中心的偏差很小时，无论方差如何取值，得到的Fisher分离度都很小。为了克服这个缺点，重新定义巴氏距离（Bhattac-charyya距离）如下：

其中，和分别代表第l类信号在频率处的所有的样本双谱的平均值和方差，表示所有类型的信号在频率处的双谱的总体中心，下标表示这是由第组观测数据得到的双谱，上标和表示信号类型。由此可知，第一项的物理含义就是Fisher可分离度，体现了每类信号分布均值的差异对识别效果的贡献，而第二项则体现了分布方差的差异对识别效果的贡献。根据此公式可知，即使双谱在特征空间中分布的均值相同，但只要其方差出现较大的差异，就仍然具有很强的可分离度。

**2.2 算法流程**

本文算法流程设计如下：

（1）计算双谱值后，根据式（13）计算出信号所有类别组合的巴氏距离。

（2）根据积分路径双谱中所含分类信息的多少，定义为对识别效果有积极贡献的双谱值，为对识别效果贡献不足甚至带来负作用的双谱值，可以得到：

其中为指定的巴氏距离的阈值，此阈值最佳值是根据大量的实验确定的。

（3）在步骤（2）中，中包含了对分类有效的信息，其中在中，u=1,2,…,，表示有效双谱路径的个数。

（4）根据以上有效路径，将第l类信号的择出的路径双谱值组成序列，其中，表示第l类信号的观测数据的个数，此序列即为剔除掉对识别效果贡献不足的路径后的特征向量，即具有最大比重的积分双谱区间。

（5）根据得到的特征向量序列重新带入式（11）可计算得到新的信号直接双谱。

（6）将新的信号双谱输入到CNN网络中进行信号分类。

**3 实验分析**

**（未完待续……）**

**4 结束语**

本文提出利用重定义巴氏距离的方法改进双谱信号并输入到卷积神经网络进行信号分离的电磁干扰信号分类方式，讨论了矩形积分双谱中积分路径个数对结果的影响，利用CNN网络解决双谱二维模板匹配问题，为电磁干扰信号分类提供了一个有效的算法。

**5 参考文献：**

[1]罗昊宸. 航天测控链路干扰信号感知与特征参数估计技术研究[D].哈尔滨工业大学,2017.

[2]张慧敏,隋建峰.基于功率谱法对大鼠脑电信号的特征信息分析[J].中国医疗设备,2016,31(10):44-47.

[3]刘江,李海龙.基于小波包滤波的焊接电源电流信号处理方法研究[J].科技通报,2017,33(12):114-117.

[4]逄玉俊,徐涛,李元,张成.基于样本空间分解的kNN分类器设计原理[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2017,36(11):1218-1223.

[5]王宏涛,孙剑伟.基于BP神经网络和SVM的分类方法研究[J].软件,2015,36(11):96-99.

[6]胡运红. 支持向量机的若干算法研究[D].山东科技大学,2011.

[7]易超人,邓燕妮.多通道卷积神经网络图像识别方法[J].河南科技大学学报(自然科学版),2017,38(03):41-44+5-6.

[8]张晴晴,刘勇,潘接林,颜永红.基于卷积神经网络的连续语音识别[J].工程科学学报,2015,37(09):1212-1217.

[9]陈耀丹,王连明.基于卷积神经网络的人脸识别方法[J].东北师大学报(自然科学版),2016,48(02):70-76.

[10]方成,薛质.基于全双谱和卷积神经网络的信号分类方法[J/OL].计算机应用研究,2018(12):1-2[2018-05-28].

[11]王欢欢,张涛.结合时域分析和改进双谱的通信信号特征提取算法[J].信号处理,2017,33(06):864-871.

[12]徐书华,黄本雄,徐丽娜.基于SIB/PCA的通信辐射源个体识别[J].华中科技大学学报(自然科学版),2008(07):14-17.

[13]徐书华. 基于信号指纹的通信辐射源个体识别技术研究[D].华中科技大学,2007.