

一种基于小波分析和分形维数的笔迹鉴别方法

程琳

(安徽公安职业学院, 安徽 合肥 230031)

【摘要】笔迹鉴别是计算机模式识别和机器学习领域的一个研究热点。本文将中文手写笔迹看成一种纹理图像,利用多尺度小波纹理分析方法对其进行二维小波包分解,再提取各通道子图的能量和分形维数,最后采用BP神经网络进行分类识别,实验结果证明利用该方法进行笔迹识别具有很好的效果。

【关键词】笔迹鉴别;纹理分析;小波包分解;分形维数

【中图分类号】TP391.41 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2011)01-0035-05

引言

笔迹鉴别是根据书写痕迹所表现出来的书写动作特征与书面语言特征来认识书写人的书写习惯,从而确定书写人身份的一门科学,它不仅在公安、安全、检察等领域具有广泛的应用,而且针对银行、电子商务等领域的手写签名笔迹进行可靠、有效、快速的鉴定具有重要的社会价值和实用意义。近年来,随着案件类型的多样化,对计算机笔迹鉴别的研究提出了新的要求,同时,模式识别和人工智能等相关学科的飞速进展为计算机笔迹鉴别的发展提供了新的契机。

纹理是图像分析中常用的概念,一般说来纹理可以认为是由许多相互接近的、互相编织的元素构成,常富有周期性。纹理也可认为是图像中灰度的空间分布特性,这种分布特性可以是结构性基元有规律的分布。图像纹理识别是计算机视觉领域的一个重要方向。常用的纹理研究方法有结构法、统计法、频谱法和模型法。手写笔迹在某种意义上可以看作是一种纹理图像,包含了特定的纹理特征,如笔迹的排版规律(字间、行间排列等)是一种有规律的纹理,单个字符的笔划之间的搭配关系也可以看作是一种纹理。从处理对象和提取特征的方法来看,笔迹鉴别可分为文本依存型和文本独立型两大类。文本依存型方法从检验笔迹和参考笔迹中选择相同的单字进行比较,在相同字的基础上鉴别,可以提取更多的特征并对字符进行细致深入的分析,故可得到比文本独立方法更高的鉴别率和可靠性。文本独立型方法的特征是从大量字符集中提取的,通过对多数字符统计得到,待鉴别笔迹并不依赖于文本的内容,鉴别难度较大。本文采用与内容无关的文本独立的笔迹识别方法,将手写笔迹作为一种纹理来看待,不同的笔迹具有不同的纹理,笔迹纹理之间的差别主要是由笔划的方向和笔划之间的搭配、交接

特点及相对位置的高低疏密等书写风格引起的,可以通过提取笔迹纹理图像的纹理信息来获取一个人的笔迹特征。实验中使用50个人的不同笔迹进行测试,对笔迹图像进行多尺度小波分解后采用盒维数分析法来提取这些笔迹的纹理特征,用神经网络完成训练识别工作,取得了较好的效果。

1 笔迹图像预处理

将手写笔迹视作图像纹理,进而进行特征提取、模式识别,由于人们的书写风格、书写习惯存在较大差异,同时还存在一些外在因素的干扰,原始笔迹图像往往存在质量偏差,含有背景、空白及其他噪声,这些都会对图像的鉴别结果产生不良影响,因此,对原始笔迹图像进行预处理是非常必要的。首先将原笔迹图像通过扫描仪扫描到计算机中,这时获取的原始笔迹样本图像可能会受到纸张类型、背景颜色、污迹、格线、扫描噪声以及其它杂色的影响,这些噪声必须去除,本文采用的方法是获取文本的颜色,而把与这种颜色不一致的其它颜色统统变为背景色,首先获取文字笔迹的颜色值,当图像各点的R,G,B三基色的值与笔迹颜色三基色值进行比较,如果小于设定的阈值则为正常的笔迹文字颜色,否则认定为噪声,将其颜色设定为背景色。通过这样的处理,在有效地消除了噪声的干扰,又保留了书写者的笔迹文本信息。接着还要进行归一化处理,人们在书写过程中由于个人的书写习惯不同,可能存在字符倾斜、大小不一,字间、行间空档不尽相同等现象,这些空档对笔迹鉴别来说是没有意义的,但是对图像的纹理会有影响,因此要对文字做归一化处理。常见的处理方法是通过对水平和垂直方向上的投影将字符大小归一化,统一行高,校正倾斜,去除行间和字间的空档,对含文字很少的文本还需要进行拼接成所需大小的纹理图像,最终处理成256*256像素大小的纹理灰度图像,

为下一步的纹理分析做好准备。

2 多尺度小波纹理分析

传统纹理分析方法从单一尺度上提取纹理信息,这种方法显然不够充分。近年来,基于多尺度或多通道分析的方法在图像纹理分析中得到了广泛的关注和应用。其中,以小波的多尺度分析法最引人注目。小波分析方法是一种窗口大小(即窗口面积)固定但其形状可改变,时间窗和频率窗都可改变的时频局部化分析方法。即在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率,在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率,所以被誉为“数学显微镜”。小波变换的基本思想是将原始信号经伸缩及平移后,将信号分解为一系列具有不同空间分辨率、不同频率特性和方向特性的子带信号,这些子带信号具有良好的时域、频域等局部特性,这些特征可用来表示原始信号的局部特征,进而实现对信号时间、频率的局部化分析,以克服傅氏分析在处理非平稳的复杂图像时所存在的局限性。

如果 $\psi(t) \in L^2(R)$ 满足允许性条件

$$C_{\psi} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty$$

那么 $\psi(t)$ 叫做可允许小波(积分小波,基小波)。其中 $\hat{\psi}(\omega)$ 是 $\psi(t)$ 的傅里叶变换。由基小波生成的小波函数系可表示为:

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

将信号在这个函数系上做分解,就得到了连续小波的定义:

设 $f(t) \in L^2(R)$, 则对其可允许小波函数 $\psi_{a,b}(t)$ 的连续小波变换为

$$(W_{\psi} f)(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\psi_{a,b}(t)} dt$$

上式求的是信号在固定小波函数 $\psi_{a,b}(t)$ 上的分量,对参数 a 和 b 进行展开以后,就得到了任何时刻,任意精度的频谱了。实际中将参数 a 和 b 或 a, b 同时做离散化,就得到了离散小波变换,离散小波函数可以表示为

$$\psi_{j,k}(t) = a_0^{-j/2} \psi(a_0^{-j} t - k b_0) \quad j, k \in Z$$

离散小波变换的系数可表示为

$$W_{j,k}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\psi_{j,k}(t)} dt$$

小波函数 $\psi(x)$ 是由尺度函数 $\varphi(x)$ 的伸缩和平移的线性组合生成的,而尺度函数 $\varphi(x)$ 本身满足两尺度差分方程,即某一尺度上的尺度函数可从其自身在下一尺度上的线性组合得出。它们满足如下的两尺度关系方程

$$\psi(x) = \sqrt{2} \sum_k g(k) \varphi(2x - k)$$

其中, h 为低通滤波器, g 为高通滤波器, h 和 g 为正交镜像滤波器,存在如下关系:

$$g(k) = (-1)^k h(1-k)$$

对于二维小波变换,小波基函数和尺度函数可有一维小波函数 $\psi(x)$ 和尺度函数 $\varphi(x)$ 的矢量积得到,即

$$\varphi(x, y) = \varphi(x) \varphi(y)$$

$$\psi^1(x, y) = \varphi(x) \psi(y)$$

$$\psi^2(x, y) = \psi(x) \varphi(y)$$

$$\psi^3(x, y) = \psi(x) \psi(y)$$

$\varphi(x, y)$ 是二维尺度函数, $\psi^1(x, y)$, $\psi^2(x, y)$, $\psi^3(x, y)$ 分别是三个二维小波函数,它们构成二维平方可积函数空间 $L^2(R^2)$ 的正交归一基:

$$\psi_{j,m,n}^l(x, y) = 2^j \varphi^l(x-2^j m, y-2^j n)$$

$$(j \geq 0; l=1, 2, 3; j, l, m, n \in Z)$$

二维离散小波分解的过程如下:

从一幅 $N \times N$ 的图像 $f_l(x, y)$ 开始,其中上标指示尺度 N 是 2 的幂。对于 $j=0, 2^j=20=1$ 尺度,也就是原图像的尺度。 j 值的每一次增大都使尺度加倍,而使分辨率减半。

在变换的每一层次,图像都被分解为四个 $1/4$ 大小的图像,它们都是由原图与一个小波基图像的内积后,再经过在行和列方向进行 2 倍的间隔抽样而生成的。对于第一个层次($j=1$),可写成

$$f_2^0(m, n) = \langle f_1(x, y), \varphi(x-2m, y-2n) \rangle$$

$$f_2^1(m, n) = \langle f_1(x, y), \psi^1(x-2m, y-2n) \rangle$$

$$f_2^2(m, n) = \langle f_1(x, y), \psi^2(x-2m, y-2n) \rangle$$

$$f_2^3(m, n) = \langle f_1(x, y), \psi^3(x-2m, y-2n) \rangle$$

后续的层次($j>1$),依次类推,形成如图 1 所示的形式。

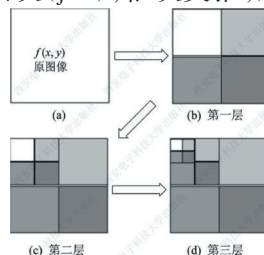


图1 金字塔结构小波变换示意图

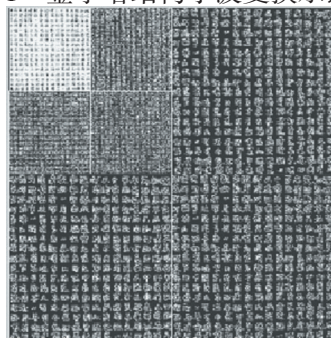


图2 笔迹图像的二维金字塔结构小波变换

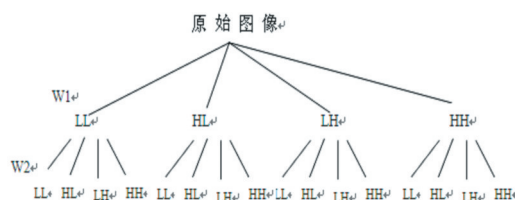


图3 小波包二维分解示意图

这些分解出来的子图像称为小波分解通道。小波通道一共有四种:LL, LH, HL, HH, 每个通道对应于原始图像在不同尺度(空间频率)和方向下的信息,LL通道代表了图像在水平低频和垂直低频下的信息;LH通道代表了图像在水平低频和垂直高频下的信息;HL通道代表了图像在水平高频和垂直低频下的信息;HH通道代表了图像在水平高频和垂直高频下的信息。当图像在某一频率和方向下具有较明显的纹理特征时,与之对应的小波通道的输出就具有较大的能量,图像中的纹理特征可以由这一系列小波通道的能量来表示。将小波变换扩展到二维的情形,即可以得到原始图像在不同尺度、不同方向上的近似分量和细节分量。小波变换使用小波函数族及其相应的尺度函数将原始信号分解成不同的频带。一般所说的小波变换仅递归分解信号的低频部分,以生成下一尺度的各频带输出。这样的分解通常称为金字塔结构小波变换。如果不仅对低通滤波器的输出进行递归分解,而且也高通滤波器的输出进行递归分解,则称为小波包分解,对图像的小波包变换形成了四叉树结构。图2给出了笔迹图像的二维金字塔结构小波变换图,图3给出了小波包二级分解的示意图。

3 分形维数

3.1 分形理论基础

1975年,Mandelbrot创立了分形几何学,在此基础上,形成了研究分形性质及其应用的科学,称为分形理论。它的主要研究对象是自然界和非线性系统中出现的不光滑和不规则的几何形体,自相似原则和迭代生成原则是分形理论的重要原则。它表征分形在通常的几何变换下具有不变性,即标度无关性。标准的自相似分形是数学上的抽象,迭代生成无限精细的结构,如科契雪花曲线、谢尔宾斯基地毯曲线等。这种有规分形只是少数,绝大部分分形是统计意义上的无规分形。分形理论为描述事物的复杂性提供有力的数学模型、定量参数和思维方法,近年来,分形理论与计算机计数结合后发展非常迅速,已经成为一门相当活跃的边缘学科,分形理论在纹理图像特征提取中也得到了广泛的应用。分形维数是描述分形最主要的参数,通常

所用的整数维已不足于用来描述分形集的复杂程度,分数维数描述了自然现象中零碎细小的局部特征构成整体系统行为的相关性。分形维数有多种计算方法,常见的有自相似维数、豪斯道夫维数、盒计数维数、功率谱维数、结构函数法维数等。其中盒计数维数是简单明了、应用广泛的一种分形维数。在不同的标度下,用盒计数法来分析实际分形集的方法适用范围广,除自仿射分形之外无论分形集是不连通的点集,还是曲线、曲面或立体都可用这一方法。

3.2 差分盒维法(DBC法)

设 F 为 R^n 上任意非空的有限子集, δ 为 n 维空间中 δ 为直径,能够覆盖 F 集的最小盒数,则盒计数维数(Box-counting dimension)定义为:

$$D_0 = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\log N_{\delta}(F)}{\log \left(\frac{1}{\delta} \right)} = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\log N_{\delta}(F)}{-\log \delta}$$

将笔迹纹理图像看成三维空间中的一个曲面 $z=f(x,y)$, (x,y) 坐标表示二维平面, z 坐标代表图像灰度值。对于给定面积为 $M \times M$ 的图像,将它分割成大小为 $s \times s$ 的格子($M/2 \geq s > 1$)。此时有 $r = s/M$,在每一个格子中有许多体积为 $s \times s \times s$ 的小盒子的堆砌。设第 (i,j) 个网格内,灰度表面的最小和最大的灰度值分别落入序号为 k 和 l 的盒子中,则第 (i,j) 个网格内的小盒子数目为 $n_{i,j} = l - k + 1$,将所有格子求和之后盒子总数为 $N_r = \sum n_{i,j}$ 。为保证对象在 (x,y,z) 三个方向上有相同的压缩因子,对盒子的尺寸做如下限制:

$$\frac{g}{s'} = \frac{M}{s} = \frac{1}{r}$$

其中 g 为图象中的灰度级数, s' 为盒子高度。用这样的盒子来覆盖三维空间中的图象表面,不同的 r 值可以得到不同的 n_r 值,最后采用最小二乘线性回归法拟合得到 $(\log(N_r), \log(1/r))$ 的斜率,即为该图像的分形维数,令 $x_r = -\log r$, $y_r = \log N_r$,用最小二乘法估计的分形维数为:

$$D = \frac{\sum_{r=1}^n (x_r - \bar{x}_r)(y_r - \bar{y}_r)}{\sum_{r=1}^n (x_r - \bar{x}_r)(x_r - \bar{x}_r)}$$

$\bar{x}_r, \bar{y}_r$ 为 x_r, y_r 的统计平均值

D 反映了纹理的粗糙度,这种盒子维数的求法在图像的邻近区域灰度值变化很大时能得到较好的精确性。人们书写的笔迹图像中包含丰富的纹理,且它们存在一定的自相似性。由于分形维数可定量地表述一个物体的形状和复杂性,而不同人的书写笔迹具有不同的纹理及复杂性,因此可以将分形维数作为特征来进行识别。

4 特征提取与分类识别

分形维数是描述纹理图像的一个很好的特征,但是对于笔迹纹理图像来说很多视觉上差别很大的纹理,分形维数近似差别不大,因此使用单一的分形维数并不能有效的描述和识别笔迹纹理。利用多尺度小波纹理分析的方法对笔迹图像进行小波包分解,再提取相应的分形维数,这样能够克服单一分形维数的缺陷,更准确的描述笔迹纹理特征。对不同的书写人来说,若采用的小波包各分量的小波基相同,则其分解到某相同尺度层上重构出来的通道纹理将具备可比性,重构图像之间的分形维数则作为一个一致性的标准将这种可比性扩展到了不同的频率域间。笔者采集了50人的手写中文笔迹进行实验测试。将每幅原始笔迹图像划分为互不重叠的两部分,一部分用于训练,另一部分用于识别,通过预处理每幅子图像归一化为 256×256 像素的笔迹纹理,具体方法如下。

(1)首先对经过预处理的纹理图像进行小波包分解,笔者采用的是用'sym3'小波基函数,第一级小波包分解后,可以得到4副子图像,第一级可以得到16副子图像。

(2)在四种小波通道中,HH通道反映了图像的高频特征,其中包含了图像中的大部分噪声,不适合进行纹理分析,在这里选取一级分解LL、HL、LH通道,一级分解LL通道的二级LL、HL、LH通道,一级分解HL通道的二级LL、HL、LH通道,一级分解LH通道的二级LL、HL、LH通道,一级分解HH通道的二级LL、HL、LH通道共计15幅子图像作为特征提取的对象,首先求取15幅图像的能量 $E = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x^2(i, j)$ (M、N是小波包分解后子图像的尺寸,i、j表示子图

像的行值和列值,x是小波包分解的系数),接着利用上述差分盒维法求取他们各自的分形维数。

(3)构造BP神经网络分类器,BP神经网络是一个前向多层网络,它利用误差反向传播算法对网络进行训练。把得到的15幅子图像的能量以及分形维数一起构成30维的特征向量输入BP前向神经网络分类器,BP网络采用二层结构,隐含层传递函数为tansig,输出层传输函数为Logsig,训练函数为Trainlm,取100个样本用于分类器训练,输入另外50个样本进行分类验证,平均正确识别率达到92.36%。

5 结论

将中文手写笔迹作为一种纹理来看待,利用图像纹理处理的相关技术和方法对笔迹的纹理信息进行鉴别,是计算机笔迹识别领域识别效果较为理想的技术之一。该方法的优越性在于鉴别的文本独立性,即不要求鉴别的文字完全相同,这就大大提高了鉴别算法的适用范围和实用性。本文提出一种基于小波分析和分形维数的笔迹鉴别方法,对文本独立型的文字笔迹识别取得了较好的效果。在实际应用中,文检专家除了考虑整体风格外还通过分析特征字、特征笔画及运笔方向、笔画顺序等来获取更细微的特征,本文所提出的方法为文检专家对笔迹的初步筛选提供了依据,在嫌疑人很多的情况下,计算机尽量多地自动排除嫌疑人而不漏掉真正的书写人,以减轻公安机关文检技术人员的工作量,提高工作效率。今后下一步的工作是将基于多尺度小波分析的分形维方法同其他特征提取方法结合起来,把基于全局的纹理特征与基于局部的纹理特征结合起来,以进一步提高笔迹鉴别的准确性和可靠性。

注释及参考文献:

- [1]马莉,范影乐.纹理图像分析[M].北京:科学出版社,2009.
- [2]何震宇.中文笔迹鉴别软件研究与开发[D].武汉理工大学,2003.
- [3]刘宏,李锦涛,崔国勤,等.基于SVM和纹理的笔迹鉴别方法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2003,15(12):1479-1484.
- [4]朱勇,谭铁牛.基于笔迹的身份鉴别[J].自动化学报.2001,27(2):229-234.
- [5]高成,董长虹,郭磊.MATLAB小波分析与应用[M].北京:电子工业出版社,2009.
- [6]S Mallat.A Wavelet Tour of Signal Processing:The Sparse Way,Third Edition[M].北京:机械工业出版社,2010.
- [7]李亚标,王宝光,李温温.基于小波变换的图像纹理特征提取方法及其应用[J].传感技术学报,2009,22(9):1308-1311.
- [8]王耀南,王绍源,毛建旭.基于分形维数的图像纹理分析[J].湖南大学学报(自然科学版),2006,33(5):67-71.
- [9]杨裕松,王思贤,廖孟扬,等.基于多重分形的纹理分析方法在B超图象识别中的应用[J].中国图象图形学报,1999,4(5):391-394.
- [10]张小京,孙万蓉,乔静.基于分形维数的白细胞图像特征提取研究[J].计算机工程与设计,2009,30(4):941-943.

An Approach of Handwriting Identification Based on Wavelet Analysis and Fractal Dimension

CHENG Lin

(*Anhui Public Security Professional College, Hefei, Anhui 230031*)

Abstract: Handwriting identification is a hot topic in computer pattern recognition and machine learning research area. In this paper, we take the handwriting as an image containing some special texture, use the multi-scale wavelet texture analysis method to carry on the two-dimensional wavelet pack transform, extract various channels sub image again the energy and the fractal dimension, finally use the BP neural network to carry on the classified recognition. Experimental results show that our algorithm is efficient.

Key words: Handwriting identification; Texture analysis; Wavelet pack transform; Fractal dimension

~~~~~  
(上接 26 页)

stirring apparatus of the KR method of liquid iron desulfurization in 2007. But, the equipment failure often happen the apparatus, and the installation and debugging person cannot solve those problems. For the better and faster use of that apparatus, the technicians of our company unite and try to solve that problem. They reinvent the elevator mechanism and the stirring apparatus, and finally have achieved good results.

**Key words:** The stirring apparatus for the KR method liquid iron desulfurization; Shaft frame column; Trolley frame box of elevator; Transmission shaft; Conical roller Bearing; Shaft block

~~~~~  
(上接 29 页)

Development Study of Self-study Examination Management System

BAI Ke-qiang¹, LI Xue-jun², JIANG Guo-li²

(*1.Southwest University of Science and Technology School of Innovation, Mianyang, Sichuan 621010; 2.Southwest University of Science and Technology School of Computer Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010*)

Abstract: The paper describes the current situation and status management problems of self-study examination in the test institute in Yunnan province, it is based on C/S model, using SQL server 2005 database management system as a background, powerbuilder application development tool as the front design of self-examination school management system. Given information management system construction method which bases on C/S model. This method makes full use of the advantages of the C/S model and figure out the problem in date management of students from admission to graduation. The system is successfully used in the self-study examination management system of Southwest university and Yunan province. Through the teaching practice and analysis, it shows that the whole system has such characteristics: a very strong interaction, security, speed, efficiency availability and so on.

Key words: School management; C/S mode; SQL Server; PowerBuilder