

小波变换技术在指纹图像预处理中的应用

马 君

(西安财经学院 计算机与科学系 陕西 西安 710061)

摘要:介绍了小波变换技术,并采用小波分解与重构方法对指纹图像进行小波压缩、去噪和增强处理。实验表明,应用小波变换技术对指纹图像进行处理能够获得较满意的结果。

关键词:指纹图像;小波变换;小波分解;小波重构

中图分类号:TP311.41 文献标识码:A 文章编号:1001-2400(2005)04-0653-04

Application of the wavelet transform in preprocessing the fingerprint image

MA Jun

(Dept. of Computer Science, Xi'an Univ. of the Finance and Economics, Xi'an 710061, China)

Abstract: The fingerprint is regarded as a kind of biological characteristic of human beings. It has the advantages of uniqueness stability, being able to gather, never being able to be from the subject, etc. It has already become the effective means that the personal identity has discerned. In this paper, the wavelet transform is introduced, and then based on wavelet decomposition and reconstruction, the fingerprint image compressing, getting rid of noise and extracting features are fulfilled. Experimental results have verified that this method is effective in preprocessing fingerprint images.

Key Words: fingerprint image; wavelet transform; wavelet decomposition; wavelet reconstruction

小波分析源于信号分析中函数的伸缩和平移,它是 Fourier 分析、Gabor 分析、短时 Fourier 分析发展的直接结果。由于传统的傅里叶分析使用的是一种全局变换,要么完全在时域,要么完全在频域,无法表述信号的时频局域性质,而这种性质恰恰是非平稳信号和不规则图像的最根本和最关键的属性。小波变换是一种信号和图像的理论,它具有多分辨率分析的特点,而且在时频两域都具有表征信号局部特征的能力,是一种窗口大小固定不变但其形状可以改变的时频局部化分析方法^[1,2]。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,适合于对不规则的指纹图像进行处理。

指纹作为人的一种生物特征,具有惟一性、稳定性、可采集性、与主体永可分离性等优点,已成为个人身份识别的有效手段。指纹识别是模式识别领域中使用最早的生物鉴定技术,它是集传感器技术、生物技术、电子技术、数字图像处理、模式识别于一体的高技术。指纹识别主要由指纹图像输入、指纹图像增强、指纹图像特征提取和指纹图像匹配等技术组成。指纹识别花费小,效果好,随着计算机图像处理和模式自动识别技术的发展,指纹自动识别技术已逐渐得到学术界和企业界的重视。

基于以上分析,笔者采用小波变换技术对指纹图像进行处理。

1 小波变换技术

小波变换和傅里叶变换的出发点都是将信号表示成基函数的线性组合,所不同的是傅里叶变换采用时间属于 $(-\infty, +\infty)$ 的谐波函数 $\exp(inx)$ 作为基函数,而小波变换的基函数是具有紧支集的母函数 $\psi(t)$,

通过对母函数 $\Psi(t)$ 进行伸缩和平移得到一个小波序列:

$$\Psi_{a,b}(t) = (1/|a|^{1/2}) \Psi((t-b)/a) \quad , \quad a, b \in R, a \neq 0 \quad , \quad (1)$$

其中 a 为伸缩因子 b 为平移因子.

对于任意的函数 $f(t) \in L^2(R)$, 其连续小波变换为

$$W_f(a, b) = \langle f, \Psi_{a,b} \rangle = |a|^{-1/2} \int_R f(t) \Psi^*((t-b)/a) dt \quad . \quad (2)$$

其重构公式(逆变换)为 $f(t) = \frac{1}{C_\Psi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{a^2} W_f(a, b) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) da db \quad . \quad (3)$

如果把连续小波变换中尺度参数 a 和平移参数 b 进行离散抽样 取 $a = a_0^j, b = k a_0^j b_0$, 这里 $j, k \in Z$, 则根据式(1), 可得对应的离散小波函数为^[2]

$$\Psi_{j,k}(t) = a_0^{-j/2} \Psi((t - k a_0^j b_0)/a_0^j) = a_0^{-j/2} \Psi(a_0^{-j} t - k b_0) \quad . \quad (4)$$

而离散化小波变换系数则可表示为

$$C_{j,k} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Psi_{j,k}^*(t) dt = \langle f, \Psi_{j,k} \rangle \quad . \quad (5)$$

其重构公式为 $f(t) = C \sum_{-\infty}^{+\infty} \sum_{-\infty}^{+\infty} c_{j,k} \Psi_{j,k}(t) \quad , \quad (6)$

式中 C 是一个与信号无关的常数.

2 基于小波分解与重构的指纹图像预处理

2.1 压缩处理

一个二维小波变换, 可看作两个连续的一维小波变换. 二维小波变换是将一幅图像分解成一系列的低频子图像. 小波变换的结果取决于所采用的小波基的类型, 而小波基是由滤波器的类型决定的^[3], 这里采用广泛使用的 Daubechies-4 型小波, 对指纹图像进行 3 层小波分解.

对一幅图像进行完全的小波分解, 得到一系列的小波系数, 小波系数的形状和尺寸与原图像相同. 比如一幅 300×300 的图像经过 3 层小波分解, 得到如图 1 所示的 10 块小波分解结果, 一共有 90 000 个系数.

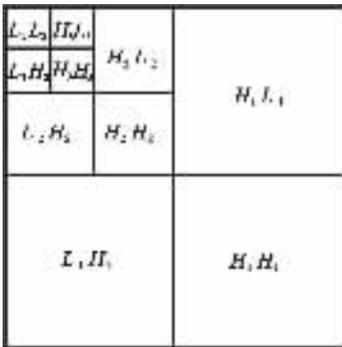


图 1 小波分解示意图

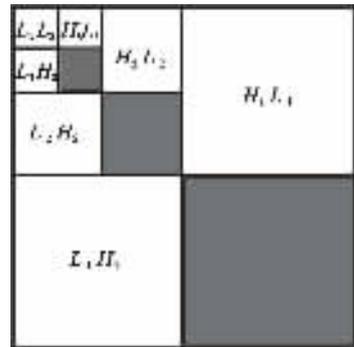


图 2 小波重构示意图

图中 $L_i L_i$ 代表图像在水平低频和垂直低频下的信息 (i 为小波分解的尺度, 下同) $L_i H_i$ 代表图像在水平低频和垂直高频下的信息 $H_i L_i$ 代表图像在水平高频和垂直低频下的信息 $H_i H_i$ 代表图像在水平高频和垂直高频下的信息.

而其中 $H_i H_i$ 反映的是图像的高频特征, 包含了图像中的大部分噪声, 不适合用于纹理特征的提取, 因此删去图 2 中阴影部分的小波分解系数, 只利用其余 7 块小波系数, 即二维小波分解尺度 3 的低频系数、二维小波分解尺度 3, 2, 1 高频水平部分、高频垂直部分、高频斜线部分的系数, 对指纹图像进行重构. 其原始指纹图和重构指纹图见图 3 和图 4.

2.2 去噪处理

二维图像的去噪处理步骤 (1) 选择一个小波和小波分解层次 N , 对二维图像进行小波分解. (2) 对高频系数进行阈值量化. 对于从 1 到 N 的每一层, 选择一个阈值, 并对每一层的高频系数进行阈值量化处理. (3) 根据小波

分解的第 N 层的低频系数和经过修改的从第 1 层到第 N 层的各层高频系数, 来对二维图像进行小波重构.



图3 原始指纹图

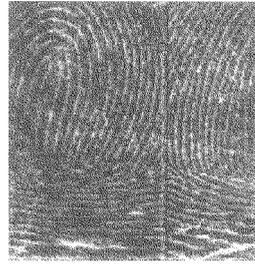


图4 7块小波分解系数重构图

在这 3 个步骤中, 其重点是如何选取阈值和如何进行阈值的量化. 通过系数与阈值比较去留, 一方面清除所有绝对值小于阈值的小波系数, 另一方面保留所有绝对值大于阈值的小波系数, 达到去噪的目的. 处理过程中小波分解的层次和小波函数的选择均具有一定的灵活性, 可依据图像和噪声的实际情况而定. 图 5 和图 6 分别给出了经过去噪处理前、后的指纹图.



图5 含噪声的指纹图



图6 去噪声的指纹图

2.3 增强处理

小波变换可以将一幅图像分解为大小、位置和方向都不同的分量. 在做逆变换之前可以改变小波变换域中某些系数的大小, 这样就能够有选择地放大所感兴趣的分量而减少不需要的分量^[4]. 图 7 和图 8 分别为图像增强前、后的对比图.



图7 增强前的指纹图



图8 增强后的指纹图

3 结果分析

以上采用小波分解和重构技术, 对指纹图像进行压缩、去噪和增强处理, 从经过处理前后的图像中来看, 可以得出如下结论: (1) 舍去图 2 中阴影部分 $H_i H_i$ 的系数, 而只使用 $L_i L_i$, $L_i H_i$, $H_i L_i$ 的系数对指纹图像进行重构, 图 4 重构的指纹图清晰度优于图 3 的原始指纹图. (2) 图 2 舍去 3 部分系数, 以 300×300 的图像为例, 其中 $H_3 H_3$ 为 38×38 个系数, $H_2 H_2$ 为 75×75 个系数, $H_1 H_1$ 为 150×150 个系数. 这样共舍去 29 569 个系数, 占原有空间的 32%, 为今后的图像处理大大节省了空间. (3) 采用具有良好局部化特征的小波变换方法, 对指纹图像进行去噪和增强处理, 取得了良好的效果. (4) 指纹图像经过增强处理后, 有助于今后的特征提取.

4 结束语

近年来,在 Gabor 分析基础上发展起来的小波分析技术得到了迅速的发展,而指纹识别技术也在不断提高.笔者给出了一种基于小波变换的指纹图像处理技术.实验表明,应用小波变换技术对指纹图像进行处理,具有很广阔的应用前景.

参考文献:

- [1] 费佩燕,郭宝龙,章正宇.基于二进小波变换的图像去噪技术研究[J].西安电子科技大学学报,2003,30(5):492-496.
- [2] 张定会.基于小波分析的故障诊断[J].上海理工大学学报,2000,(2):205-208.
- [3] Donobo D L. De-noising by Soft-thresholding[J]. IEEE Trans on Information Theory, 1995, 41(3):617-627.
- [4] 虞和济.基于神经网络的智能诊断[M].北京:冶金工业出版社,2000. 306-310.

(编辑:齐淑娟)

(上接第 586 页)

若等效天线长度等于两段天线非公共端点的连线长度,即

$$l_0 = ((x_{i+1} - x_{i-1})^2 + (y_{i+1} - y_{i-1})^2)^{1/2} \quad (17)$$

则等效天线的等效视电阻率为

$$\rho_0 = \left(\frac{((l_i \rho_i^{1/2} + l_{i+1} \rho_{i+1}^{1/2} \cos \alpha_i)^2 + (l_{i+1} \rho_{i+1}^{1/2} \sin \alpha_i)^2)^{1/2}}{l_0} \right)^2 \quad (18)$$

$$\text{场点相对于等效天线的方位角为 } \theta_0 = \theta_i - \arctg \frac{l_{i+1} \rho_{i+1}^{1/2} \sin \alpha_i}{l_i \rho_i^{1/2} + l_{i+1} \rho_{i+1}^{1/2} \cos \alpha_i} \quad (19)$$

显然等效天线方向不在两段天线非公共端点的连线的方向上,其与第 i 段天线的夹角为

$$\Delta_i = \arctg \frac{l_{i+1} \rho_{i+1}^{1/2} \sin \alpha_i}{l_i \rho_i^{1/2} + l_{i+1} \rho_{i+1}^{1/2} \cos \alpha_i} \quad (20)$$

这意味着天线的辐射方向图将发生偏移.

3 结论

极低频水平发射天线的性能与天线所在地的大地视电阻率是密切相关的,笔者给出了天线场地等效视电阻率的计算方法,并指出应采用沿天线架设方向视电阻率的长度加权平均值来表征天线场地的电特性.值得注意的是文中研究的视电阻率是用来计算天线辐射能力的,是某点从地表面看下去非均匀大地呈现的视电阻率,而不是该点大地地质体材料的电阻率.

参考文献:

- [1] Jones D L, Burke G P. ELF Radiat[A]. 100 Years of Radio 5-7 September Conference Publication[C]. [s. l.]: IEE, 1995. 101-106.
- [2] Burrows M L. Surface Impedance and the Efficiency of Horizontal-Dipole Extremely Low Frequency (ELF) Antenna Arrays[J]. IEEE Trans on Communications, 1974, 22(4):475-483.
- [3] Ji Yicai, He Xiulian, Zhan Xiaogang, et al. Analysis of the Inverted L Antennas Mounted on a Conducting Concave Surface[J]. Journal of Xidian University 2003, 30(4):506-509.
- [4] Sainati R A, Wolkoff E A. Application of Magnetotelluric Techniques at Extremely Low Frequency (ELF) for Sanguine Transmitting Antenna Site Characterization[J]. IEEE Trans on Communications, 1974, 22(4):394-398.

(编辑:齐淑娟)