

# 多通道小波在掌纹图象几何变换与消噪中的应用

李峰泉<sup>1)</sup> 曾衍钧<sup>1)</sup> 欧阳骏<sup>2)</sup> 孙晓鹏<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(北京工业大学生物医学工程中心, 北京 100022)

<sup>2)</sup>(北京微视电子技术有限公司, 北京 100080)

**摘要** 提出了三通道小波变换的思路, 解决了实际应用中获得的掌纹图象, 由于采样问题而产生严重几何变形的校正问题. 采用 QMF 的方法构造出多通道小波滤波器组, 三通道小波分解后进行二插值重建对数字图象进行重采样, 从而达到图象几何变换的目的. 小波变换有分频的特性, 在对图象进行几何变换处理的同时, 也对采样效应引起的噪声(Morie 条纹)进行了消除. 掌纹图象经过处理后的效果令人满意, 从而证明方案可行.

**关键词** 多通道小波变换 滤波器组 掌纹 几何变换 图象消噪

中图分类号: R318.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)08-0824-05

## Palm-print Image Geometry Deformation and De-Noising Via Multi-Channel Wavelet

LI Feng-quan<sup>1)</sup>, ZENG Yan-jun<sup>1)</sup>, OU-YANG Jun<sup>2)</sup>, SUN Xiao-peng<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Biomedical Engineering Center, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

<sup>2)</sup>(Beijing MicroView Electronic Technique Co. Ltd, Beijing 100080)

**Abstract** This paper introduces a method to recover seriously deformed palm-print images via three-channel wavelet transform. Those filters sharing common input or output signals with other are called as a filters bank. The deformation processing in this paper is just like digital resample, in which a filters bank with three filters is implemented to the palm-print images for wavelet decomposition, and then a procedure of binary interpolating is performed after the image is reconstructed by another filters bank which also has three filters. A way on QMF method to design multi-channel wavelet filter banks is introduced in this paper, too. Because the wavelet transform has the feature of frequency division, the images are de-noised, eliminated the sample effect (the Morie stripe), at the same time. The 3-channel wavelet transform extends multi-resolution wavelet analysis that can only be based on the scales  $2^j$ , thus makes the multi-resolution wavelet analysis more in detail. The method is feasible and the results are acceptable.

**Keywords** Multi-channel wavelet, Filter banks, Palm-print, Geometry deformation, Image de-noising

## 0 引言

小波分析是一种有效的工具, 二进小波(对数据进行低通和高通两种小波分解的方法)是最容易实现也最普遍的方法. 现今使用最多的多分辨率小波分析方法则是通过对二进小波分解结果进行二进小

波重复分解得到. 多分辨率小波分析的优点是突出的, 但由于其分解规则的局限性(只能分解 2、4、8 等 2 的整数幂序列), 有些情况下也无法满足要求. 多通道小波(Multi-Channel Wavelet)的概念就是相对二进多分辨率小波分解尺度序列上的空白而提出的, 其可以对待处理信号进行更细致的频率分解.

掌纹灰度图象是通过 CCD 设备采集并用于提

取峰纹特征,但由于采集设备的问题,采集到的图象存在两大缺点:(1)  $x$  轴与  $y$  轴采样间距不相等,导致图象严重变形;(2) 在 CCD 移动(即水平)方向上,采样值出现抖动现象,周期恒定为 2,幅值误差较大且变化没有规律,可能是采样间距过近导致的

采样效应(Morie 条纹)所致.图象的预处理阶段需要进行几何变换和消噪.图 1 为一幅掌纹灰度图象(1824×3072,256 级灰度)和其水平及垂直方向的灰度投影,从图上可以清晰地看出图象的退化程度.

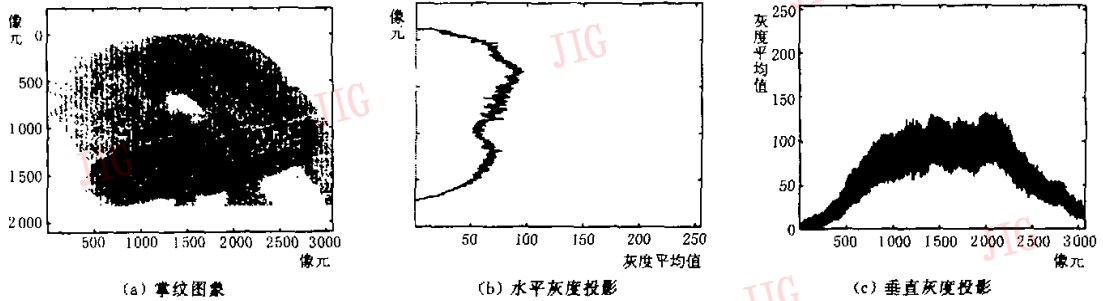


图 1 掌纹灰度图象及其水平和垂直灰度投影

通常的几何变换需要首先找出图象变形的原因及程度,建立退化过程的数学模型,再求出反演算法.由于无法得到图象采集前,对应手掌的原始精确尺寸,故不能通过这种方式实现.由于得到的数字图象水平采样频率正好是噪声频率的两倍,满足采样定律,任何试图 D/A 转换的行为都会把噪声恢复无遗.将图象恢复成连续模型,再重新采样的几何变换方法也是行不通的,因为噪声对连续模型的重建工作存在巨大影响,所以几何变换只能通过数字重采样的方式,即采用 1/2、2/3、3/4...重采样的方法进行.

### 1 小波变换与正交小波基<sup>[1,2]</sup>

在小波变换中,对尺度参数  $a$  和平移参数  $b$  离散化,可以使小波变换具有“变焦距”的功能.实际中,采用二进制的动态采样网格,即  $a_0=2, b_0=1$ ,由此得到的小波

$$\Psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \Psi(2^{-j}t - k) \quad j, k \in \mathbf{Z} \quad (1)$$

称为二进小波(Dyadic Wavelet).

图象消噪的常规方法有:低通滤波(包括邻域滤波、中值滤波等)、神经网络、小波算法等.由于对噪声(包括几何变形的比率)没有任何先验知识,因此消噪处理就不能通过卡尔曼滤波这样的方式.又由于掌纹是一种纹理图象,其细节信息(峰和谷)正是进行特征识别的基础,有其自身的纹理周期,用通常的低通滤波方式会对峰和谷的纹理造成较大的模糊作用,所以,利用小波的分频特性进行消噪是一个有吸引力的想法.

Meyer 于 1986 年创造性地构造出具有一定衰减性的光滑函数,其二进伸缩与平移构成  $L^2(\mathbf{R})$  的标准正交基.1988 年, Mallet 提出多分辨率分析(MRA)的概念.其主要精髓是通过  $a_0=2$  算法的嵌套调用产生伸缩因子  $a_0=2^j$  上的一系列分析.并通过二进滤波器组的树型结构来实现.小波包算法也是基于多分辨率分析的原理.

要消除图象的各向异性,就必须采用各向异性的方法.考虑到以上因素,采用 2/3 比例对图象进行水平压缩.具体的方法是:用多通道小波变换的方法,建立三通道小波滤波器组,对水平方向进行三通道小波变换,而垂直方向仍然采用常规的二进小波,利用小波消噪的同时,对水平变换分量进行二插值重构,垂直方向也采用二插值重构,从而同时实现了几何变换(重采样)和噪声消除.

定义 1 空间  $L^2(\mathbf{R})$  二进多分辨率分析是指  $L^2(\mathbf{R})$  中满足如下条件的一个空间序列  $\{V_j\}_{j \in \mathbf{Z}}$ :

- (1) 单调性:  $V_j \subset V_{j+1}$ , 对任意  $j \in \mathbf{Z}$ .
- (2) 逼近性:  $\bigcap_{j \in \mathbf{Z}} V_j = \{0\}$ ,  $\text{close} \{ \bigcup_{j \in \mathbf{Z}} V_j \} = L^2(\mathbf{R})$ .
- (3) 伸缩性:  $f(t) \in V_j \Leftrightarrow f(2t) \in V_{j+1}$ .
- (4) 平移不变性:  $\forall k \in \mathbf{Z}, \exists \varphi_j(2^{-j/2}t) \in V_j \Rightarrow \varphi_j(2^{-j/2}t-k) \in V_j$ .
- (5) Riesz 基存在性:  $\exists \varphi(t) \in V_0$ , 使得  $\{\varphi_j(2^{-j/2}t-k) | k \in \mathbf{Z}\}$  构成  $V_j$  的 Riesz 基.

## 2 多通道小波分析与滤波器组<sup>[3~5]</sup>

### 2.1 多通道小波变换

将多分辨率分析的小波滤波器直接通过滤波器组的形式实现,就称作多通道小波,这种称呼主要区别于二进小波的两个通道.由于已经有大量成熟的二进小波滤波器,所以,  $a_0=2^j$  的一系列小波用多通道滤波器组方式实现是没有什么意义的,只有在序列  $\{2, 4, 8, \dots\}$  之外的多通道小波,才有应用的现实意义.由于构造滤波器组的方法比较复杂,所以真正有实用意义的滤波器组也就是三通道和五通道两种.

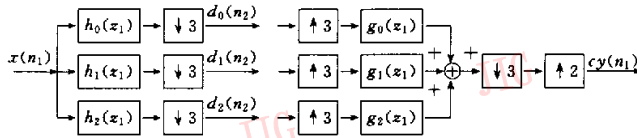


图3 图2的等效系统

需要注意的是,以上的系统等效在大多数情况下都是不正确的,文献[1]中第3章证明了只有在滤波器  $g_i(z_1)$  ( $i=0, 1, 2$ ) 长度是6的整数倍时,以上的等效变换才成立,这是本系统中设计滤波器组的一点限制.

### 2.2 三通道小波滤波器组的设计

定义1中的一系列性质,可以使  $\varphi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \times \varphi_j(2^{-j/2}t - k)$  构成  $V_j$  子空间的正交基.从而可以引申出对任意  $M \geq 2$  整数的多分辨率小波正交基的基本条件.对于滤波器组,为了便于求重构滤波器组  $g_i(z_1)$  ( $i=0, 1, 2$ ),要求  $h_i(z_1)$  ( $i=0, 1, 2$ ) 与  $g_i(z_1)$  ( $i=0, 1, 2$ ) 符合共轭正交滤波器组 (Conjugate Quadrature Filter Banks) 的条件.也就是说,可以设计  $h_i(z_1)$  ( $i=0, 1, 2$ ) 在全频带上符合分频点为  $\pi/4, 3\pi/4$  的全通均匀正交镜像滤波器 (QMF: Quadrature Mirror Filter) 组来实现三通道小波分析.具体到实施,只要按照 QMF 滤波器的设计方法设计出符合以下条件的截止频率为  $\pi/4 - \Delta$  (其中  $\Delta$  认为是过渡带宽度的二分之一) 的低通 FIR 滤波器  $h_0(z)$  即可

$$|H_0(e^{j\omega})|^2 + |H_1(e^{j\omega})|^2 + |H_2(e^{j\omega})|^2 = 1 \quad (2)$$

按照下式,以分析滤波器阻带能量之和最小为目标函数对  $h_0(z)$  的系数,  $a_{0,i}, i=0, 1, \dots, N-1$  进行优化,可以求出符合要求的滤波器

多通道 ( $M$  通道) 小波分析与综合的原理,其详细证明参见文献[1]第6章.

图2为实验中作水平方向几何变换的小波算法采用的三通道滤波器组结构,其中,  $n_2 = 3n_1$ ;  $c=1.5$ .图3是系统的工作原理(图2的等效系统),其中,  $n_2 = 3n_1$ .

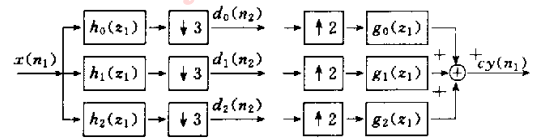


图2 实验系统小波结构的水平方向处理框图

$$\int_{\pi/4+\Delta}^{\pi} |H_0(e^{j\omega})|^2 d\omega + \int_0^{\pi/4-\Delta} |H_1(e^{j\omega})|^2 d\omega + \int_{3\pi/4+\Delta}^{\pi} |H_1(e^{j\omega})|^2 d\omega + \int_0^{3\pi/4-\Delta} |H_2(e^{j\omega})|^2 d\omega \stackrel{\text{def}}{=} \varphi \quad (3)$$

取小波支撑长度  $N=12$ ,经优化可以求得分析滤波器  $h_0(z)$ ,进而可以求得全部滤波器组.实验中采用的分析滤波器组如图4所示,其频率响应如图5所示.

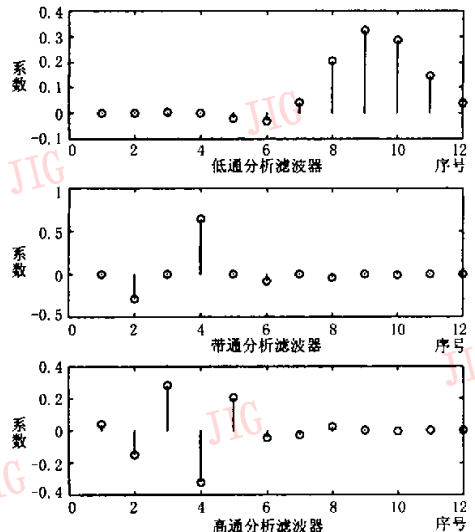


图4 分析滤波器组

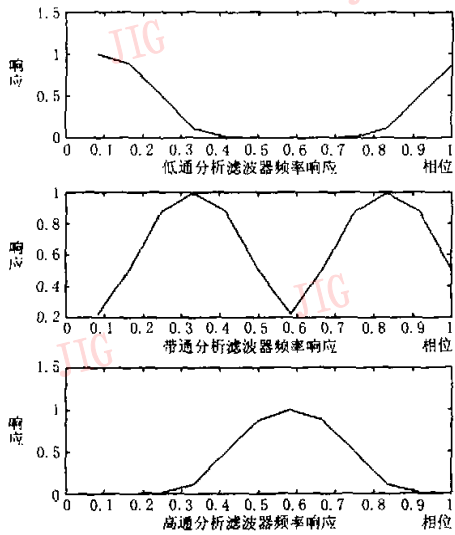


图 5 分析滤波器组的频率响应

在图 5 中,由于所有滤波器都是线性相位,所以其频率响应在相平面上关于实轴对称;低通滤波器与高通滤波器的频率响应关于  $\pi/2$  对称;带通滤波器的频率响应也关于  $\pi/2$  对称;理论上讲,一个滤波器组中的所有滤波器频率响应的通带之和形成全频带。

### 3 处理结果

用前面经优化求得的滤波器组对 Lena 图象的部分进行了二维小波分析的实验,一次分解得到 9 个不同频段的分频系数。用重构滤波器组进行重构,重构后  $PSRN=38.4\text{dB}$ ,虽然有较大的重构误差,但主观感觉处理过程对图象的清晰度没有影响。经分析,认为重构图象的误差主要产生于滤波器的混

迭失真,此外生成 BMP 图象时的灰度值取整也会造成一定程度的重构误差。

图 6 是对图 1(a)所示的掌纹用系统进行处理后的结果,其中,消噪是用常规的小波消噪方法进行的,由于噪声幅值较大,且聚集在中频段(其频率是采样频率的一半),所以采用硬阈值方法将中频系数置零,此外,对高频系数做了常规的软阈值小波消噪处理。图 7 是处理结果的垂直灰度投影。图 8 是处理前掌纹的一部分与这部分处理后的对比。效果令人满意。

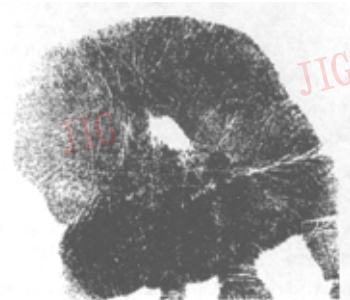


图 6 对图 1(a)掌纹的处理结果

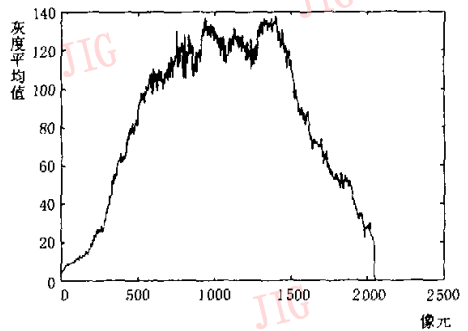
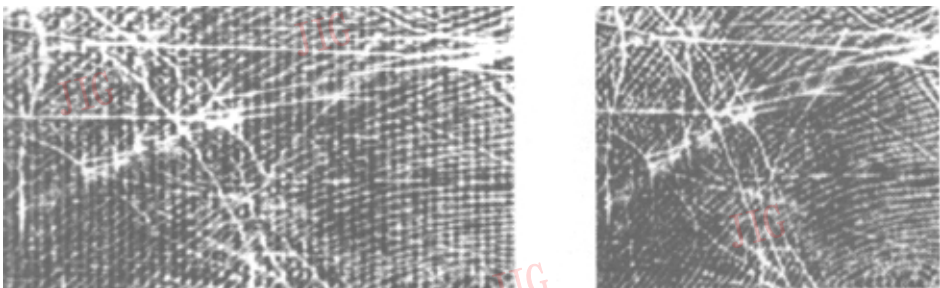


图 7 处理结果的垂直灰度投影



(a) 处理前

(b) 处理后

图 8 处理前掌纹的局部与处理后的结果

## 4 结果讨论

三通道小波变换方法填补了通常的多分辨率小波分析只能在尺度 $\{2, 4, 8, 16, \dots, 2^l\}$ 上进行分析的部分空白,从而提供了新的可利用的尺度序列: $\{2, 3, 4, 6, 8, 9, 12, \dots\}$ .使多分辨率小波分析向更加细致化方向发展.用类似方法也可以构造五通道小波滤波器组.

### 参考文献

- 1 Chang S G. Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(9): 1532~1546.
- 2 Chang S G. Spatially adaptive wavelet thresholding with context modeling for image denoising[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(9): 1522~1531.
- 3 宗孔德. 多抽样率信号处理[M]. 北京:清华大学出版社, 1996, 48-70: 193~220.
- 4 Rosenfeld A. Multi-resolution image processing and analysis [M]. New Yoik; USA: Springer-Verlag, 1984.
- 5 Mallet S. A theory for multi-resolution signal decomposition; The wavelet representation [J]. IEEE Pattern Analysis And Machine Intelligence, 1989, 11(7): 674~693.



**李峰泉** 1994年获东北大学学士学位, 2001年获北京工业大学生物医学工程中心硕士学位. 研究方向为医学图象处理.



**曾衍钧** 教授, 博士生导师, 1957年毕业于清华大学, 1957~1961年在中国科学院工作, 1961年至今在北京工业大学工作, 其中1981~1984年在美国加州大学(San Diego)生物医学工程系工作. 现任北京工业大学生物力学和医学信息研究所所长. 主要研究方向为医学信息.



**欧阳骏** 1965年生, 工程师, 北京微视公司总经理, 毕业于北京大学自动化系. 主要研究方向为数字图象采集处理.



**孙晓鹏** 1997年获山西大学计算机科学学士学位, 现为北京工业大学生物医学工程中心硕士研究生, 研究方向为医学图象处理、计算机网络.