

# 小波变换在热图像压缩中的应用

赵红怡 王景中 曾凡锋

(北方工业大学智能控制与图像处理研究室,北京 100041)

摘要 对图像进行小波变换<sup>[1]</sup>后各子图像数据的特性进行了探讨,并利用这些特性提出了一种方块分割方法和一种矢量量化编码时所需的数据平稳性和各态遍历性的大数据检测方法;然后研究了小波变换在热图像压缩中的应用。

关键词 小波,图像压缩,矢量量化,热成像

## 1 引言

基于小波变换的图像压缩,充分考虑了图像的结构特点及人的视觉要求,使它具有许多优良性质。特别是在特殊要求的图像压缩中,它具有一般压缩方法所不具有的优势,例如对热图像数据的压缩。既要达到一定的压缩比,又要保证测温精度,使用一般的图像压缩方法很难满足要求。热图像是用红外探测器接收目标红外辐射而形成的一种可视图像。由于热图像是用来测温的,这对压缩提出了一个新课题——如何在保证测温精度的前提下提高压缩比。针对热图像的特点,我们采用小波压缩方法获得了满意的效果。本文主要研究了小波变换在热图像压缩中的应用,提出了一种适合热图像压缩的新方法,获得了高压缩比和满意的恢复图像质量。

## 2 小波变换基本原理

设要分析的二维图像信号为  $f(x,y) \in L^2(R^2)$ , 则有

$$f(x,y) = \sum_{j,k,l \in Z} d_{j,k,l}^1 \Psi_{j,k,l}^1(x,y) + \sum_{j,k,l \in Z} d_{j,k,l}^2 \Psi_{j,k,l}^2(x,y)$$

$$+ \sum_{j,k,l \in Z} d_{j,k,l}^3 \Psi_{j,k,l}^3(x,y)$$

其中

$$d_{j,k,l}^1 = \iint_{R^2} f(x,y) \Psi_{j,k,l}^1(x,y) dx dy$$
$$d_{j,k,l}^2 = \iint_{R^2} f(x,y) \Psi_{j,k,l}^2(x,y) dx dy$$
$$d_{j,k,l}^3 = \iint_{R^2} f(x,y) \Psi_{j,k,l}^3(x,y) dx dy$$

由于任何实际图像都只具有有限的分辨率,故可设  $f(x,y) \in V_0^2$ 。为了分析方便,设  $J=0$ , 则

$$V_0^2 = \bigoplus_{j=-1}^{-N} W_j^1 \bigoplus_{j=-1}^{-N} W_j^2 \bigoplus_{j=-1}^{-N} W_j^3 V_{-N}^2$$

这里

$$W_j^1 = V_j \otimes W_j, W_j^2 = W_j \otimes V_j, W_j^3 = V_j \otimes W_j$$

从而二元正交分解和回复算法可由下式得到,设

$$f_0 \in V_0^2, g_{-j}^i \in W_{-j}^i, f_{-j} \in V_{-j}^2$$

记

$$f_{-j}(x,y) = \sum_{k,l \in Z} c_{j,k,l} \varphi_{j,k}(x) \cdot \varphi_{j,l}(y)$$

$$g_{-j}^1(x,y) = \sum_{k,l \in Z} d_{j,k,l}^1 \Psi_{j,k}(x) \cdot \varphi_{j,l}(y)$$

$$g_{-j}^2(x,y) = \sum_{k,l \in Z} d_{j,k,l}^2 \varphi_{j,k}(x) \cdot \Psi_{j,l}(y)$$

$$g_{-j}^3(x,y) = \sum_{k,l \in Z} d_{j,k,l}^3 \Psi_{j,k}(x) \cdot \Psi_{j,l}(y)$$

后,小波分解算法为:

$$c_{j,n,m} = \frac{1}{2} \sum_{k,l \in Z} c_{j-1,k,l} \bar{h}_{k-2n} \bar{h}_{l-2m}$$

$$d_{j,n,m}^1 = \frac{1}{2} \sum_{k,l \in Z} c_{j-1,k,l} \bar{h}_{k-2n} \bar{h}_{l-2m}$$

$$d_{j,n,m}^2 = \frac{1}{2} \sum_{k,l \in Z} c_{j-1,k,l} \bar{g}_{k-2n} \bar{h}_{l-2m}$$

$$d_{j,n,m}^3 = \frac{1}{2} \sum_{k,l \in Z} c_{j-1,k,l} \bar{g}_{k-2n} \bar{g}_{l-2m}$$

其重构算法为：

$$c_{k-1,n,m} = \frac{1}{2} \left\{ \sum_{j,l \in Z} c_{k,j,l} h_{n-2j} h_{m-2l} + \sum_{j,l \in Z} d_{k,j,l}^1 h_{n-2j} g_{m-2l} + \sum_{j,l \in Z} d_{k,j,l}^2 g_{n-2j} h_{m-2l} + \sum_{j,l \in Z} d_{k,j,l}^3 g_{n-2j} g_{m-2l} \right\}$$

简记为：

$$C_{j+1} = H_r H_c C_j$$

$$D_{j+1}^1 = H_r G_c C_j$$

$$D_{j+1}^2 = G_r H_c C_j$$

$$D_{j+1}^3 = G_r G_c C_j$$

这里的  $H$  和  $G$  分别是低通滤波器和高通滤波器。其  $H_r$  和  $H_c$  表示  $H$  别作用于阵列的行和列上，其  $G_r$  和  $G_c$  表示  $G$  别作用于阵列的行和列上。二维图像的小波分解具体实施时可如下进行：先分别用低通滤波器和高通滤波器对每一行作滤波，并作隔点抽样；再分别用低通滤波器和高通滤波器对得到的图像每一列作滤波并作隔点抽样，最后得到图像的第一层分解(图 1)。它是由 4 个子图像组成的，它们分别代表原图像不同频率特性与方向特性的滤波。其中 LL1 对应低频分量；HL1 对应垂直边缘，细节分量；LH1 对应水平边缘，细节分量；HH1 主要对应  $45^\circ$ 、 $135^\circ$  方向上的高频分量。对一层小波分解所得到的低频分量 LL1，还可继续进行分解，一直达到要求为止。图 2 是一个 3 层小波塔式分解的示意图。图 3 是一幅用热像仪拍摄的三相保险的热像图，图 4 是图 3 经过二次小波变换的结果。



图 3 原图

Fig. 3 Original image.

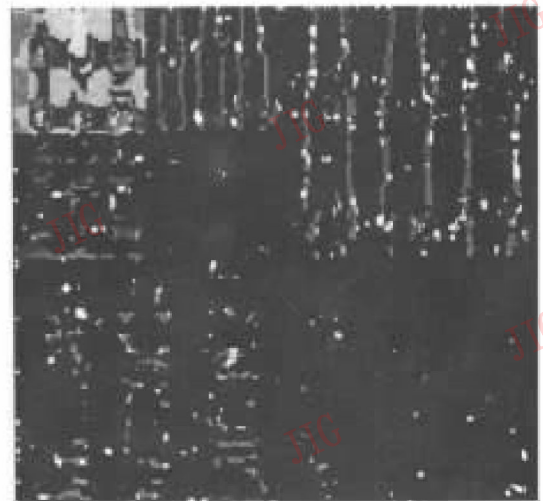


图 4 二次小波变换结果

Fig. 4 Results of two-wavelet transformation.

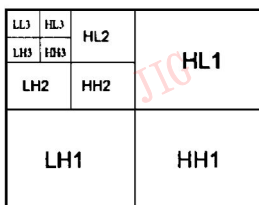


图 1 一层小波分解  
Fig. 1 First-decomposition by using wavelet transform.

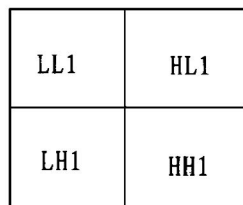


图 2 三层小波分解  
Fig. 2 Triple-decomposition by using wavelet transform.

### 3 小波变换在热图像压缩中的应用

基于小波塔式分解的矢量量化编码压缩的基本步骤是先把图像进行小波塔式分解，得到一个多分辨图像，然后对这个多分辨图像进行矢量量化编码，码书由各子图像生成的子码书生成。这个由不同尺度和不同方向的子图像生成的子码书组成的码书叫多分辨码书。基于小波塔式分解的矢量量化编码压缩已证明是非常有效的<sup>[2]</sup>，然而它还有许多地方需要进一步改进和完善，它的研究还在进行之中。下面我们简要介绍针对小波变换后各子图像的特点提出

的两种处理方法<sup>①</sup>,用以提高压缩比和得到好的恢复图像质量。图像的矢量量化编码压缩过程框图如图 5 所示:

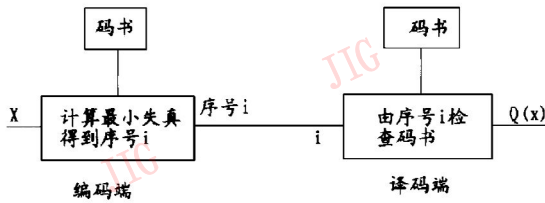


图 5 矢量量化编码压缩框图

Fig. 5 Chart of vector quantization encoding.

### 3.1 基于小波变换子图像特性的矢量方块构成

图像经过小波分解以后,分成不同的子图像,这些子图像分别代表不同的方向特性和频率特性,对属于不同方向的子图像,由于其数据具有不同的特点和相关性,因而我们采用不同的方块形状。为了说明方便,我们对照图 2 来说明。对于如图所示的高频分量 HH1、HH2、HH3 我们采用 45°斜平行四边形(4×4);对代表水平方向分量的 LH1、LH2、LH3 我们采用宽式长方形(长比宽要长)。通过实验测定其方块尺寸分别为 8×16,4×8,2×4;竖直方向分量的 HL1、HL2、HL3 我们采用竖式长方形,其方块尺寸分别为 16×8,8×4,4×2;由于低频分量集中了图像的能量,故我们不对它采用矢量量化,我们对它实施一维标量量化。经过这样构成的矢量能够充分满足图像矢量量化编码所需要的信号平稳性和各态遍历性的要求。

### 3.2 图像矢量量化的一个考虑及大数据的检测

图像矢量量化编码中,矢量的平稳性与各态遍历性是非常重要的。然而我们从各高频子图像的直方图可以看到,各个子图像的数据尽管大都分布在零的附近(这符合矢量量化的要求),但也有一些大数据的存在破坏了矢量量化所需的平稳性与各态遍历性。为了既能达到平稳性与各态遍历性的目的又能得到好的恢复图像质量,我们采用把大数据抽取出来单独进行编码。最简单的一种检测方法是给定一个阈值 T,把大于 T 的数据及其位置信息检测出来。然而这种方法计算量很大,为此我们与“利用基带信息检测实现对其子带数据分类和提供分类数据位置信息”所不同的是采用了粗尺度下的子图像数据特性来检测细尺度下的高活动率数据(大数据)及其位置信息,这样更精确。我们采用的办法是(为

了方便,我们在实验中采用 3 层塔式分解),分别用 HL3、HH3、LH3 的数据特性来检测 HL2、HL1; HH2、HH1; LH2、LH1 中的高活动率数据位置信息。我们的具体做法是:第一步,对 HL3 中的任一数据,求出其对应的 5×3 邻域中的最大幅度差,并将这个幅度差的绝对值与给定的门限 T 相比较,若这个绝对值大于 T,则该数据划为高活动数据集合,否则将其划为低活动率数据集合。对其它 HH3、LH3 可类似进行,只是对 LH3 中的任一数据其邻域为 3×5,对 HH3 则像文献[3]一样其邻域 3×3。在选择 T 时考虑到 3 个子图像分别代表不同的边缘信息,我们可以根据需要而在不同的子图像使用不同的门限。我们通过实验测定,HL3、HH3、LH3 使用的门限值分别为 42、60、48。第二步,对第一步检测出来的大数据的 4 个子数据(关于像素的父子关系可参见文献[4])进行与第一步类似的工作,只是此时的门限为原来的 1/2。第三步,对第二步检测出来的大数据的 4 个子数据进行与第一、二步类似的工作,此时的门限为第二步的 1/2。

对上面检测出来的大数据(或高活动率数据)我们单独把它列为一个区域,对它单独实行量化编码。在大数据原来的地方置零,从而提高各子带矢量的平稳性与各态遍历性。

## 4 结果及分析

为了实现具有线性相位的分解,我们选用双正交小波基函数。实验中的热图像的大小为 256×200 像素,具有 256 级灰度值的图像。我们首先对它进行 3 层小波分解。然后对分解后的各子图像进行矢量量化,矢量采用上面介绍的几种方块分割方法生成。实验中我们采用如下几种评价指标:(1)归一化均方差 NMSE;(2)信噪比 SNR;(3)压缩比;(4)压缩前后图像最高最低温度的之间的差值;(5)平均温度误差。这几个性能指标是评价热图像所必需的,特别是后几个性能评价指标更显得重要。在实验中分别对 JPEG,小波变换加标量量化 WSQ,小波变换加矢量量化 WVQ,本文推荐的小波变换加矢量量化 P-WVQ 4 种方法进行比较,从实验数据分析得出,本文推荐的 P-WVQ 是一种较好的方法,具体的实验结果见表 1。

① 唐金山等,基于小波塔式分解和矢量量化的图像压缩及其在热图像中的应用,模式识别与人工智能(待发表)。

表1 实验结果

Table 1 Experimental results

NMSE	SNR	压缩比	温度差值的最大值 (C)	平均温度差值 (C)	最高温度 (C)	最高温度之间的差值 (C)	最低温度 (C)	最低温度之间的差值 (C)
0.001171	29.31378	50.127	2	0.43	原图 85.3 恢复图 86	0.7	原图 14.4 恢复图 13.8	0.6

## 参考文献

- 1 Mallat S. A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation, IEEE Trans. PAMI. 1989, 11(7): 674~693.
- 2 Antonini M, Barlaud M, Mathieu P, et al. Image coding using lattice vector quantization of wavelet coefficients. Proc of ICASSP

1992, 1(2): 2097~2100

- 3 李兵兵, 李飞鹏, 胡征. 小波分解图像数据的矢量量化. 西安电子科技大学学报, 1994, 21(3): 278~283.
- 4 Jerome M Shapiro. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients. IEEE Trans. On Signal Processing, 1993, 41(41): 3445~3462.



赵红怡 1987年东北师范大学电子学专业毕业并获硕士学位。现在北方工业大学智能控制与图像处理研究室工作。主要研究方向是图像处理与多媒体技术应用。

# Wavelet Transformation and its Application to Thermal Image Compression

Zhao Hongyi Wang Jingzhong Zeng Fanfeng

(Institute of Intelligent Control & Image Processing, North China Univ. of Tech., Beijing 100041)

**Abstract** This paper first of all based on the wavelet pyramid decomposition of the images, the distributed properties in the data of each subband are analyzed in detail. According to these properties, a modified block-partition method and a large number-determined method used in vector quantization are presented. Then the thermal image compression using wavelet transformation has been studied.

**Keywords** Wavelet, Image-compression, Vector quantization, Thermal-image