

# 一种基于噪声模型的小波系数量化补偿方法

张江山,朱光喜

(华中科技大学电子与信息工程系图像信息处理与智能控制国家教委开放研究实验室,湖北武汉 430074)

**摘要:** 本文提出一种基于噪声模型的小波系数量化补偿方法,在小波变换域上对零截断系数采用简单的噪声模型进行补偿,解码端根据模型参数,合成随机纹理,改善因系数零截断量化造成的随机纹理失真,从而提高解码图像的主观视觉质量.实验结果表明,模型参数编码只需 0.013bpp.在相同编码比特率的情况下,与 JPEG2000 缺省编码方法相比,图像主观质量得到很大改善.

**关键词:** 图像编码;视觉系统;量化;小波变换

**中图分类号:** TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 02-0232-03

## A Method of Wavelet Coefficient Compensation with Noise Model

ZHANG Jiang-shan, ZHU Guang-xi

(Dept. of Elec. & Information Eng., Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

**Abstract:** In this paper we propose a method of wavelet coefficient compensation with noise model. In the wavelet transform domain, the wavelet coefficient which is truncated to 0 by quantizer is simulated by noise model. According to these parameters of model, the stochastic texture is synthesized at decoder to improve the distortion and improve the visual quality of decoded image. The result shows that the bit rate is only 0.013 bpp for the parameter of model, and at the same bit rate, compared to the JPEG2000, the visual quality of decoded image is much improved.

**Key words:** image coding; vision system; quantify; wavelet transform

### 1 引言

在目前各种有损图像编码中,由于对变换域上的较小的系数进行零截断量化处理,因此,不可避免会产生方块效应、毛刺效应以及模糊效应.这些现象主要是高频纹理信息丢失造成的<sup>[1]</sup>.由于人眼视觉系统对这些纹理失真非常敏感,因此,造成解码图像的主观质量较差.要改善解码图像质量,现有的方法只有通过降低零截断量化门限来改善这种纹理失真,而这将使得编码数据大量增加,极大地降低了编码效率.本文提出一种基于噪声模型的小波系数量化补偿方法,采用简单的噪声模型<sup>[2]</sup>描述这些区域,只需传送数量很少的模型参数,便可在解码端重构纹理信息,从而有效改善编码图像质量.

### 2 基于噪声模型的小波系数量化方法

典型的小波编码器用比特平面对小波变换系数进行编码.首先,对幅值较大的小波系数的高位进行编码,然后根据量化零截断门限,将较小的系数量化为零,从而实现数据压缩,如图 1(a)所示.在进行解码时,由于零截断系数一般包含了一些随机纹理信息,这将导致解码图像的纹理区域出现模糊现象,造成图像主观质量降低.图 1(c)表示了被截断的随

机纹理系数.

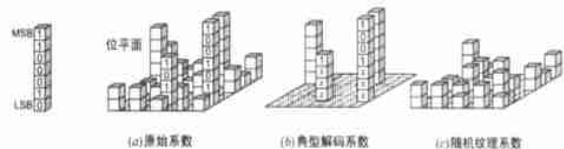


图1 小波系数编码位平面。(a)原始系数;  
(b)典型解码系数;(c)随机纹理系数

本文提出基于噪声模型的小波系数量化补偿方法如图 2 所示.首先对输入图像进行小波分解,在前两级分解域中引入噪声模型(图 2 中灰度阴影表示的高频部分).当前两级分解的每个子带中的随机纹理统计特性变化比较剧烈时,可以将小波分解的子带分为若干  $n \times n$  的系数子块<sup>[3]</sup>,并分别确定每个子块的噪声模型参数.采用这种方法,计算简单,增加的头信息很少.

在解码端,从比特流中读取每个子块的噪声模型参数,用概率密度函数重建噪声模型.将噪声模型合成的小波系数分别插入到被零截断的系数位置上.这样,便实现了用合成纹理补偿在编码端因系数量化零截断误差所造成的纹理信息失真.图 3 说明这种合成系数的补偿过程.

收稿日期:2001-06-28;修回日期:2002-03-22

基金项目:国家自然科学基金(No. 69973018);湖北省自然科学基金(No. 99J009)

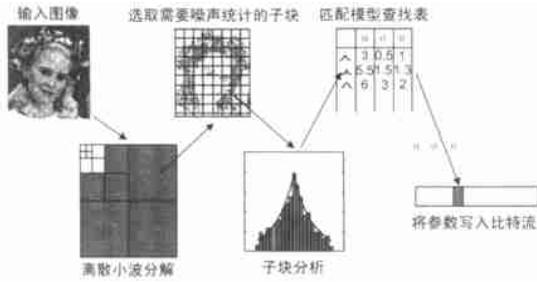


图2 基于噪声模型的小波系数量化补偿过程

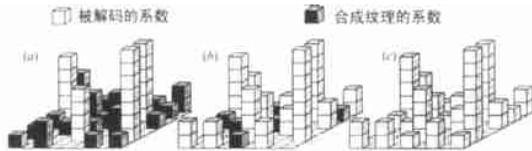


图3 在原始系数为零的位置插入合成系数。(a)良好质量(0.2bpp);(b)优秀质量(1.0bpp);(c)无损解码

### 3 随机纹理分析

假设在小波变换域  $l$  方向上第  $a$  个  $k$  级子带中位于  $i, j$  处零截断系数用  $d_{i,j}^{(k,l,a)}$  表示,随机纹理用  $(k, l, a), T_A^{(k)}$  表示零截断门限,即:

$$d_{i,j}^{(k,l,a)} = \begin{cases} d_{i,j}^{(k,l,a)} & |d_{i,j}^{(k,l,a)}| > T_A^{(k)} \\ 0 & |d_{i,j}^{(k,l,a)}| \leq T_A^{(k)} \end{cases}$$

由于引入噪声模型的目的是补偿量化过程中对低级位平面零截断量化而丢失的随机纹理,因此,  $T_A^{(k)}$  只考虑在分解级  $k = 1$  和  $k = 2$  上的低级位平面上的系数。

为了理解系数幅值与纹理特征的关系,在图4中,图4(b)和图4(c)分别用灰度形式表示  $T_A^{(2)} = 100$  以及  $T_A^{(2)} = 5$  时的系数幅值变化。从中明显看出,较大幅值的系数基本表示了图像的边缘部分,而较小幅值的系数接近于随机噪声分布。

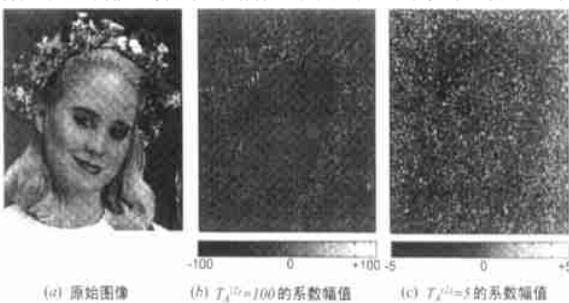


图4 第二级小波分解系数

可以通过小波系数幅值的 Gaussian 分布来描述随机纹理,相应的概率密度函数为:

$$p(x) = \left[ \frac{\nu}{2} \left( \frac{\nu}{1/\nu} \right) \right] \exp(-|x|^\nu)$$

$$\left( \frac{\nu}{1/\nu} \right) = -1 \left[ \frac{(3/\nu)}{(1/\nu)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中  $\nu$  是标准偏差,它决定了分布函数的形状;当  $\nu = 2$  时为 Gaussian 分布,  $\nu = 1$  时为 Laplacian 分布。典型的直方图形式如图5所示。除了两个噪声参数  $\nu$  和  $a$ ,还引入了小波系数空间  $(k, l, a)$  中的最大幅值  $a$ 。

噪声模型描述了小波系数幅值在  $(k, l, a)$  空间上的分布。由于主要以小波系数幅值的局部直方图描述模型特性。因此,子块大小  $n$  是计算局部直方图的一个重要参数。如果子块尺寸足够小,模型可以准确适应随机纹理的局部特性。但是,过小的子块尺寸不能包含足够数目的小波系数来计算统计直方图,这将不能可靠地获得模型参数。此外,子块尺寸越小,则要传送的模型参数的数量越多。如果子块选择太大,产生的纹理可能会忽略局部变化。在实验中分别采用子块大小为  $n = 4, 8, 16, 32, 64$  和  $128$  进行比较,结果表明,子块大小为  $n = 16$  或  $n = 32$  时的图像视觉质量最好。

为了减少每个子块的模型参数的数据量,需要对它们进行量化、压缩。对于  $\nu$  和  $a$  参数分别用 3 比特精度量化,其编码比特率大约仅为  $0.013\text{bpp}$ 。这样便可产生  $2^9 = 512$  种不同的分布。然后采用查找表的方法进行匹配。在查找表中搜索与实际分布之间均方误差最小的参数模型。

### 4 结果分析

实验以 JPEG2000 编码器为基础,对  $1000 \times 800$  分辨率的图像分别用 JPEG2000 缺省编码器和本文提出的方法改进的 JPEG2000 编码器进行编码,两种方法都进行 5 级小波分解,子块大小为  $32 \times 32$ 。两种方法编码的主观视觉质量如图6所示。

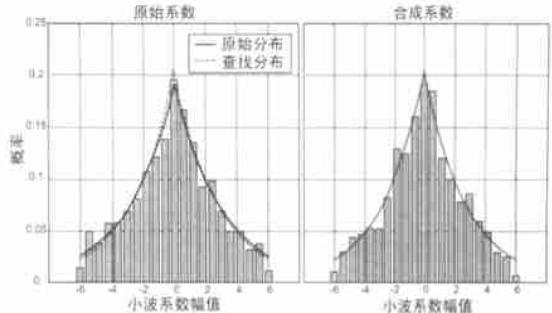


图5 在子块分析过程中对小波系数幅值分布进行匹配

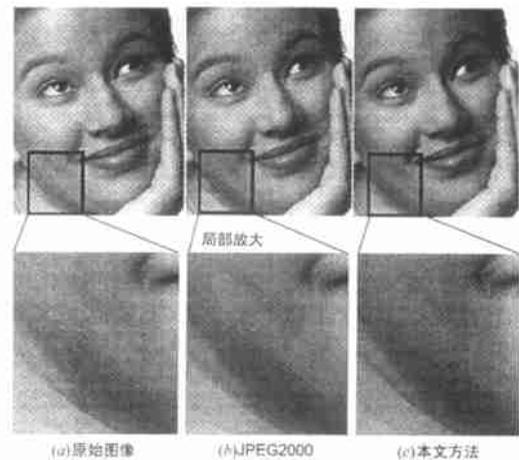


图6 在编码比特率为 0.2bpp 情况下,两种方法编码图像的主观质量比较

对图像编码质量的评价,一般采用计算解码图像与原始图像的均方误差的方法,而本文所采用的方法是以人眼视觉

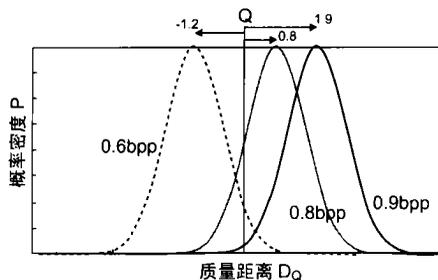


图7 质量判决概率密度函数与质量距离的关系

特性为出发点,因此,采用均方误差的客观评价标准不能准确描述视觉主观质量的改善程度.这里采用文献[4]中提出的方法对两种编码图像进行评价.这种方法通过质量距离  $D_Q$  描述图像间的质量差别.假设主观质量的判决过程沿质量变化坐标上用符合 Gaussian 概率密度函数的随机过程描述.如图7所示,其中  $Q$  为采用本文改进方法在码率为 0.2bpp 时的图像质量,原编码器在不同码率上的质量判决概率密度函数的最大值到  $Q$  直线的距离表示它们之间的质量距离  $D_Q$ .从图中可以看出,采用原编码器进行编码,当比特率为 0.8 和 0.9bpp 时,其图像视觉质量分别比  $Q$  质量高出 0.8 和 1.9 个质量距离单位.  $Q$  直线将这两条概率密度函数曲线所包含的区域分为左右两个部分,右侧区域的面积分别占总面积的 58% 和 95%,这表明,58% 和 95% 的观察者分别认为原编码器在 0.8bpp 和 0.9bpp 码率的图像优于改进方法在比特率为 0.2bpp 时质量.原编码器在码率为 0.6bpp 时的图像视觉质量比  $Q$  质量低了 1.2 个质量距离单位.在测试过程中,当 100% 的观察者认为被测图像质量都低于  $Q$  质量时,反相概率为 0,此时令质量距离为 -, 反之,则为 +.

通过三个不同的观察者 ( $O_1, O_2, O_3$ ) 进行反复测试,分别得到不同的质量距离,如表 1 所示.表中最右列是观察者认为与  $Q$  质量相同的原编码器的编码比特率.在表中最下一行列出与  $Q$  质量相同的平均编码比特率以及视觉改善程度.其中

表 1 主观测试质量距离结果

观察者	JPEG2000 缺省编码比特率 (bpp)					原图	与改进方法编码率为 0.2bpp 的 图像质量相同的比特率估算 (bpp)
	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9		
$O_1$	-	-	-	-0.4	0.4	+	0.875
$O_2$	-	-	-	-	1.2	+	0.875
$O_3$	-	-	-	0.4	1.2	+	0.825

视觉质量相同的平均比特率为 0.86, 质量改善程度  $g_v = 0.86/0.2 = 430\%$

视觉改善程度为  $g_v = b_D/b_W$ ,  $b_D$  和  $b_W$  分别表示原编码器与改进方法的视觉质量相同时的编码比特率.

## 5 总结

本文通过噪声模型对传统的小波编码方法进行改进.图像边缘和结构信息仍然使用传统的小波编码方法进行编码,而对于反映图像随机纹理的小波系数,通过分析得到相应的随机分布噪声模型参数,并随编码流传给解码端,在解码端根据这些噪声模型参数利用概率密度函数在小波域上取代零截断系数,从而提高图像视觉质量.实验结果表明,这种编码方法与 JPEG2000 缺省编码方法进行比较,在相同的编码比特率的条件下,图像的视觉质量得到很大改善.

## 参考文献:

- [1] Neves S R, Mendonca G V. Image coding based on edges and textures via wavelet transform [A]. ICASSP '98 [C]. Washington: ICASSP, 1998, 5: 2689 - 2692.
- [2] Gray M F. The effects of co-occurrence matrix based texture parameters on the classification of solitary pulmonary nodules imaged on computed tomography [J]. Computerized Medical Imaging and Graphics, 1999, 23 (6): 339 - 348.
- [3] Debure Kelly, Kubato Toshiro. Autoregressive texture segmentation and synthesis for wavelet image compression [A]. Image and Multidimensional Digital Signal Processing '98 [C]. 1998, 131 - 134.
- [4] Silverstein A, Farrell J E. Quantifying perceptual image quality [R]. Image Processing Quality and Capture. The Society for Imaging Science and Technology, 1998.

## 作者简介:



张江山 男, 1970 年 8 月生于青海, 1992 年毕业于华中工学院 (现华中科技大学) 电子与信息工程系, 1997 年获硕士学位, 现为华中科技大学电子与信息工程系讲师, 于 1999 年攻读博士学位, 主要研究方向为通信与信息系统、信号处理、计算机视觉.

朱光喜 男, 1945 年 1 月出生于广西, 1969 年毕业于华中工学院 (现华中科技大学), 获学士学位, 现为华中科技大学电子与信息工程系教授、博士生导师, 任电子与信息工程系主任, 主要研究领域为计算机图形图像处理, 多媒体通信, 计算机协同工作等.