

基于四叉树结构的小波格型矢量量化

甘 涛, 朱维乐

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】基于格型矢量量化克服了传统矢量量化计算和存储复杂度高的缺点,提出了一种新型四叉树结构的小波格型矢量量化算法。对小波变换系数进行视觉加权,以感知的均方误差准则取代传统均方误差。改进零树编码方法,并按照小波系数的四叉树结构及其方向性来组织矢量,对重要系数作格型矢量量化。从而较好地综合利用了小波系数在空间和频域的能量集中特性。仿真实验证明,该方法具有速度快,存储量小的优点,与文献中其他算法相比,具有较高的编码效率。

关键词 格型矢量量化; 四叉树; 视觉加权; 零树编码

中图分类号 TN919.8 文献标识码 A

Lattice Vector Quantization of Wavelet Image Using Quadtree Structure

Gan Tao, Zhu Wei-le

(School of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Lattice vector quantization(LVQ)outperforms LBG based vector quantizers by offering a substantial reduction in computational and storage complexity. A novel algorithm based on quadtree structure is proposed in this paper as a combination of wavelet transform and LVQ. First, perceptual weighting on the wavelet transform coefficients is introduced with the result of substituting normal distortion measure Mean Square Error(MSE)with perceptually based one. To exploiting both frequency and spatial compaction of energy of wavelet, a framework with improved zerotree coding followed by LVQ is developed. Codeword is organized based on directional quadtree structure to take advantages of the inherent properties of the wavelet transform coefficients. Stimulation shows, compared with other algorithms in literature, this algorithm has distinct advantages of high coding efficiency with fast speed and small storage requirement.

Key words lattice vector quantization; qundtree; perceptual weighting; zerotree coding

基于零树结构的编码是利用变换域中频率和空间位置能量集中特性来实现高效编码的。嵌套式小波零树(Embedded Zerotree Wavelet, EZW) 编码算法就是典型例子^[1]。零树分类后的精细量化,可以是标量,也可以是矢量的。EZW采用了标量量化。然而矢量量化具有独特的优势。香农信息论指出,矢量量化优于标量量化。近来不少学者提出了小波域的矢量量化方法。研究表明,基于LBG算法的矢量量化具有计算和存储复杂度高等缺点,严重限制了其应用。格型矢量量化(Lattice Vector Quantization, LVQ)码书由空间规则格

收稿日期: 2004-06-21

作者简介: 甘涛(1975-),男,在职博士生,讲师,主要从事信源信道编码方面的研究。

点构成,可直接计算得到而不需要存储,从而克服了前者的缺点。对此,本文将讨论一种新型的小波变换与格型矢量量化相结合的方法。

1 算法思想

1.1 小波变换及其系数的分布特点

小波变换产生具有多分辨率的空域方向树,分解后的各级子带如图1所示。各高频子带是图像同一个边缘,轮廓和纹理信息在不同方向、不同尺度下由粗到细的描述过程。小波变换后,图像的能量主要集中于低频子带,高频子带所占的能量很少,且小波系数分布基本符合拉普拉斯(Laplacian)分布。这是后面提到的LVQ使用Laplacian模型的依据。

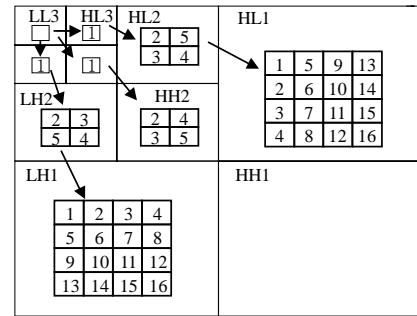


图1 小波塔式分解图

1.2 视觉加权MSE

塔式小波分解后的各子带对图像恢复的贡献不同,而传统的失真准则均方误差(Mean Square Error, MSE)不能与其匹配。对此,为取得更好的主观效果,在小波分解之后和综合之前分别加入基于视觉特性的加权处理,以使得零树编码量化采用基于感知的MSE准则来代替传统的MSE。加权后的等效MSE为:

$$D = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{l,o} \sum_{r,c} \left(\frac{x_{l_o}(r,c) - \hat{x}_{l_o}(r,c)}{t_{l_o}(r,c)} \right)^2 \quad (1)$$

式中 N_1, N_2 为图像的长宽; $x_{l_o}(r,c)$ 与 $\hat{x}_{l_o}(r,c)$ 分别为第 l 层分解; o 方向坐标为 (r,c) 的原系数和恢复系数; $t_{l_o}(r,c)$ 为该系数的可感知(Just Noticeable Detection, JND)门限; JND值参考文献[2]。

1.3 混合编码方案

小波分析方法的基本思想就是将图像进行多分辨率分解,然后对变换系数进行编码量化。根据小波图像各个频带的能量和地位的不同,针对三级分解,本文提出了一种小波零树编码和格型矢量量化相结合的混合编码方案。

低频子带(LL3),对原图恢复至关重要,不参与零树编码和矢量量化。采用差分脉冲编码调制(Differential Pulse Code Modulation, DPCM)加自适应算术编码进行压缩。最高频对角方向子带(HH1),贡献较少,将其全部丢弃。其余子带采用如下的零树编码和格型矢量量化。

1.3.1 改进的零树编码

零树是基于小波系数相关性的一种假设。文献[1]EZW充分利用了零树特征,取得了较好的编码效果。但研究表明,对众多“孤立零点”的编码造成了浪费,而且编码较费时。本文提出了一种改进的零树编码方法,可根据所定的码率,对小波系数作一次扫描,大大节约了编码时间。对EZW的改进主要从以下3个方面:

- 1) 进行零树分类扫描时,一级高频子带和低频子带不参与零树编码。其余子带采用频率从高到低的顺序扫描。这样本次(父代)的零树检测,可利用前次(子代)的零树生成信息,从而大大缩短了扫描时间;
- 2) 在分类扫描中,把子带系数分为非零树根(non-zerotree)和零树根(zerotree)两类,而不对“孤立零点”单独标记,将其视为重要的。这样做不仅提高了编码效率,而且可以有效地减少能量损失;
- 3) 对零树信息(只有0与1两个符号)单独构成码流,使用自适应算术编码得到高效的压缩。

1.3.2 格型矢量量化

本文采用带间(interband)方式,按小波二叉树特性组织矢量。同时,使用LVQ取代传统矢量量化,具有简单快速的编解码特性。

1) 矢量维数和格的选择

对各高频子带,根据小波系数的二叉树结构,将1→4→16的父子二叉树结构划分为两部分(如图1所示),

1→4组成5维的矢量，即矢量由第三级高频子带中的一个父点与其在第二级相应子带中的4个子点组成；将第一级子带中的对应16个点单独组成16维的矢量。对应前两种矢量(5维与16维)分别使用 D_5 和 Λ_{16} 格进行量化。根据空间填充理论， Λ_{16} 为16维最佳格，而5维的矢量最佳格为 D_5^* ，即 D_5 的对偶格。然而考虑到 D_5^* 的量化比 D_5 相对要复杂得多，而且在金字塔截短时对应半径(能量)的格点数目也难得到，故选用次优的 D_5 格来设计量化器。

2) 矢量分量的构成方式

考虑到小波系数的方向性，各级子带在设计矢量结构时按其方向特性来组织。HLx、LHx分别按水平和垂直顺序来组织矢量的各个分量，如图1所示。分量顺序由1~5(5维)，或1~16(16维)标出。经这样处理后的矢量规律性强，有利于提高矢量量化的编码效率。

3) LVQ策略

(1) 由于小波系数基本符合Laplacian分布，采用超金字塔曲面截短格。同时考虑不同子带能量不同，两类矢量采用不同的截短半径。

(2) 从上面的5维矢量的构成得知，第一个分量1比它后面的4个分量重要。考虑到分量间的重要性差异，在进行格型量化过程中，当需要引入错量化来寻求最近格点时，应保证每次错量化都在次要分量上进行，即不对1分量作错量化，而只对后4个处理。从而较大地改善了量化器性能。

(3) 在对格点标号时，为了提高编码效率，采用乘积码来组织索引标号，即 $(r, index)$ 。 r 为格点所在的半径，即 l_r 范数。 $index$ 为处于半径 r 上的格点位置索引。因为 r 有限且大部分取值很小，用熵编码来组织非常有效， $index$ 用固定码长编码^[3]。

2 系统流程

根据前面提出的思想，得到编解码结构框图，如图2所示。

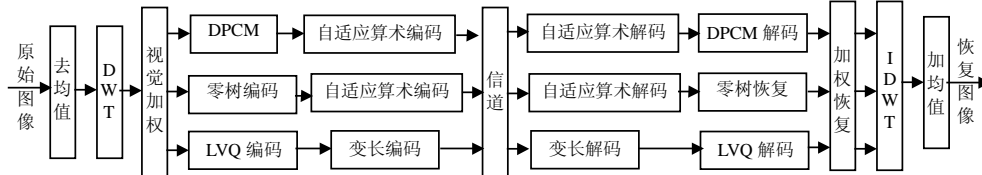


图2 系统流程图

3 仿真与结果

分别采用标准512×512，8 bit的Lena和Barbara图像，对系统性能进行仿真实验。选择了双正交的(9, 7)滤波器作3级小波分解，对输入图像使用对称延拓。

表1、2分别列出了Lena和Barbara的仿真结果。图3所示给出了Barbara的原始图像和部分重建图像。图表中PSNR表示恢复图像的峰值信噪比，b/p表示每像素所需的比特数。

表1 Lena图像压缩结果比较

	文献[1]	文献[4]	文献[3]	本文算法	
				未加权	加权
				PSNR/dB	33.17
编码率/b·p ⁻¹	0.250	0.320	0.250	0.257	0.252

表2 Barbara图像压缩结果比较

	文献[1]	文献[5]	本文算法	
			未加权	加权
			PSNR/dB	26.77
编码率/b·p ⁻¹	0.250	0.200	0.227	0.218



图3 编码效果图

从比较结果中可看出, 本文算法在较低编码率时仍能获得较好的信噪比。在同等码率的情况下图像质量优于EZW和其他格型矢量量化算法^[3-5]。这是因为使用零树编码与LVQ的结合, 进一步发挥了相互的优势。从图3可见, 当码率低到 0.25 b/p , Barbara恢复图像出现较明显的视觉误差。经视觉加权处理后, 尽管 $PSNR$ 有所下降, 图像质量仍得到了显著的改善。这是因为Barbara图像纹理丰富, 加权处理以牺牲高频为代价换来了较好的视觉效果。故视觉加权在图像较平缓的Lena中, 优势就不明显。

同时, 因为使用LVQ, 避免了传统矢量量化带来的计算和存储的高复杂度。仿真实验证明, 该方法具有较快的速度和较小的存储量。

参 考 文 献

- [1] Shapiro J. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients[J]. IEEE Transactions on Signal Proce-Ssing, 1993, 41(12): 3 445-3 462
- [2] Safranek R J, Johnston J D. A perceptually tuned subband image coder with image dependent quantization and post-quantization data compression[J]. IEEE ICASSP 89, 1989, 3: 1 945-1 948
- [3] Manijeh K, Soleymani M R. Indexing the output points of an LBVQ used for Image transform coding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9 (5): 827-833
- [4] Mikhail S, Andrew P P. Image coding through D Lattice quantization of wavelet coefficients[J]. Graphical Models and Image Processing, 1997, 59(4): 193-204
- [5] Barlaud M, Sol'e P, Antonini M, et al. Pyramidal lattice vector quantization for multiscale image coding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1994, 3: 367-380

编 辑 孙晓丹

• 简讯 •

本刊常务副主编徐安玉编审再次被信息产业部等单位聘为专家

从今年信息产业部的主编审读工作会议中获悉: 本刊编辑部常务副主编徐安玉编审再次被信息产业部聘为信息产业部电子科技期刊专家组成员, 担任电子科技期刊的审读和评审工作。

又讯: 徐安玉编审被中国电子科技集团公司第二十六研究所, 《压电与声光》杂志聘为编委会委员。

• 卞 宣 •