

基于零树小波的图像空间与数率混合可分级编码研究^{*}

Researches on Hybrid Spatial and Rate Scalable Image Coding Based on Zerotree Wavelet

王相海

(辽宁师范大学计算机与信息技术学院 大连116029)

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京210093)

Abstract The multimedia applications in a multiresolution environment, such as progressive transmission of image, image database browsing, etc., arise rate scalable image coding algorithm. The image scalable coding based on wavelet transformation has received much attention in recent years. This paper gives two kinds of hybrid spatial and rate scalable image coding methods based on zerotree wavelet. The proposed methods not only have some good properties such as EZW encoder, but have high flexibility on scalability of image coding. Simulation results show they are effective.

Keywords EZW, Rate scalable coding, Spatial scalable coding, Hybrid spatial and rate scalable coding

1. 引言

随着 Internet 的迅速发展,人们对图像编码的要求越来越高,不仅要求编码技术具有较好的压缩效果,而且要求它能适应于图像网上传输的需求。为此人们提出了图像可分级编码的思想。可分级的图像编码码流可以满足图像渐进传输、多质量服务以及图像数据库浏览等要求,同时还可以节省图像数据库中因需要存储不同数据率图像所占用的存储空间,因而受到人们的关注。

图像可分级编码的思想在90年代的 JPEG 图像编码标准中便有所体现,即标准中基于 DCT 的分层编码思想。随着图像编码技术的发展,特别是基于小波的图像编码技术的发展,人们对图像的可分级编码技术进行了进一步的研究,出现了空间分辨率可分级、数率可分级等编码技术,此外在正在制定的、作为下一代静态图像编码标准的 JPEG-2000 中,还提出了基于 ROI (Regions of Interest) 的可分级编码思想^[1]。如何灵活、方便有效地实现图像编码的可分级技术成为近几年图像编码技术所追求的重要目标之一。

本文首先介绍了图像可分级编码的一些基本概念,并对基于小波的图像可分级编码技术进行了分析,在此基础上提出了两种基于零树小波的图像空间与数率连续可分级编码的混合方案,一种是在数率可分级确定(即数率在某一范围内任意选择)前提下的空间可分级编码方案;另一种则是在空间可分级确定(即空间分辨率在一定范围内可任意指定)情况下,实现连续数率可分级编码方案。这两种混合可分级编码方案可以更加灵活地实现实际应用中图像码流解码的可分级要求。实验结果验证了该方法的有效性。

文章介绍了图像可分级编码的基本概念,对基于小波的图像可分级编码进行了分析,在此基础上给出了两种基于零树小波的图像空间与数率连续可分级编码的混合方案和实验结果。

2. 图像可分级编码的基本概念

一个图像编码的比特流具有可分级性(Scalability)是指利用该比特流的一部分(或子集)可以产生对该图像一个有用

表示的能力,即解码器能够根据分辨率的情况对码流的一部分进行解码。图像的可分级编码通常有三种情况,即数率可分级(或称 SNR 可分级)编码、空间分辨率可分级编码和 ROI 可分级编码。数率可分级指对一个压缩的码流,用户可根据带宽或系统能力的具体情况从码流的开始端来截取相应的一段码流进行解码。连续数率可分级则是指对码流进行截取时可在一定范围内对码流按任意数率进行截取;空间分辨率可分级指以不同空间分辨率对图像进行解码;ROI 可分级编码是指允许图像的某一部分(即感兴趣区域)以更好的质量被编码。

3. 基于小波的图像可分级编码情况

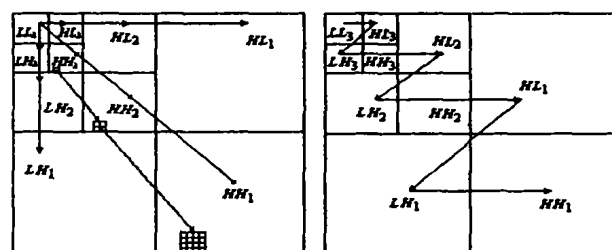


图1 子频带的父、子关系 图2 各子代的编码顺序

小波分析技术近年来在工程应用领域的应用被认为是工具和方法上的重大突破。借助小波变换,可以把图像信号分解成许多具有不同空间分辨率、频率特性和方向特征的子带信号^[2],实现低频长时特征和高频短时特征的同时处理,使得图像信号的分解更适合于人的视觉特性和数据压缩的要求。

小波变换将图像分解成不同空间分辨率的层次结构这一特性,使得基于小波的图像空间可分级编码的实现变得简单,随着编码过程中对空间分辨率要求的提高,只需将相应的子带系数参与编码数据中即可。

借助小波变换的空间压缩特性和系数分布的相似性,人们提出了零树小波图像编码思想^[3,4]。零树小波图像编码方法以其高效、简捷和可精确控制压缩比等特点,被认为是当今最有效的二维静止图像编码方法之一。零树小波中的这些特点

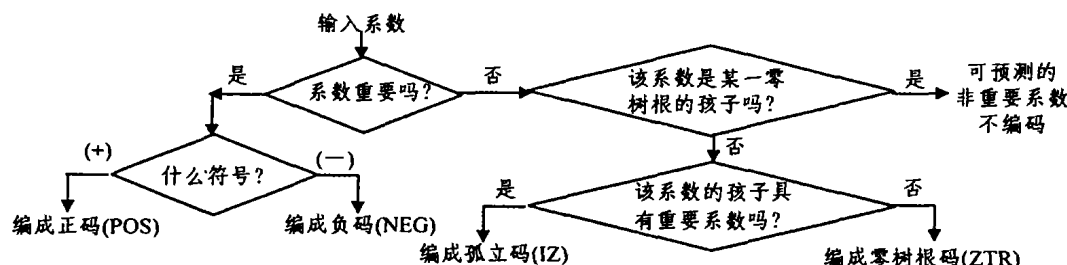
^{*} 南京大学计算机软件新技术国家重点实验室资助项目。王相海 博士,副教授,主要研究领域为计算机图形学、图像及多媒体信息处理。

恰好满足了图像数率可分级编码的要求,近几年这一思想又得到了进一步的研究和发展^[5~7]。

基于 ROI 的可分级编码方案,在 JPEG-2000 中被提了出来,同时标准中还给出了一种基于小波的 Maxshift 编码方案^[1],它支持任意形状的 ROI 编码,并且具有较小的复杂度,这在一定程度上体现了 JPEG-2000 所具有的基于内容的编码能力。

4. 基于 EZW 零树小波的两种图像空间可分级与数率可分级混合编码方案

4.1 EZW 算法的基本思想



4.2 空间与数率可分级混合编码方案一

4.2.1 基本思想 整个方案首先在 EZW 算法的基础上,对一定范围内任意选取的数率获得相应的嵌入式码流,然后对该码流进行空间层次重排,即将指定数率的整幅图像的码流重新分配到相应的空间子带中,这样对于指定的空间分辨率,利用相应空间子带系数便可以实现可分级解码。方案的总体过程参见图4。

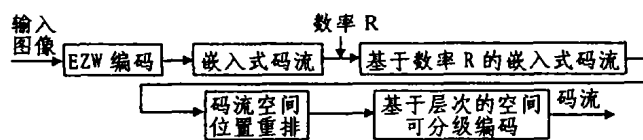


图4 混合编码方案一总体结构图

4.2.2 码流空间位置重排 对于通过由 EZW 算法所获得的基于数率 R 的嵌入式码流,我们采用了与 EZW 编码几乎相逆的过程来进行系数的空间位置重排:从码流的始端开始,对每一个编码信息,利用其标志信息(比如编码时当前的阈值等)和编码性质(即是零树根码,还是孤立零码或重要系数码)确定其所在空间子带中的位置和大小,如果当前编码是零树根码,还需确定其各个后代的空间位置;如果标志信息中阈值发生了变化,即编码时对整幅图像的扫描次数发生了变化,则需要用后面所处理的信息来填充前面相应位置上的信息,如果当前处理的信息为重要系数,则之前相应位置上的信息一定是不重要的信息。

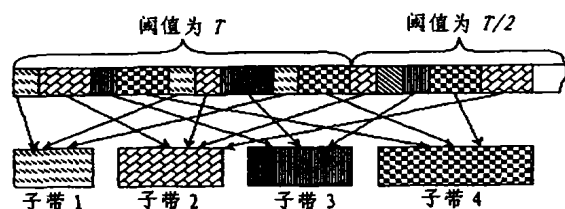


图5 码流系数重排示意图

EZW(Embedded Zerotree Wavelet)算法利用了图像小波变换系数级间幅值分布的相似性,即同一方向上各级高频子带系数幅值分布大体一致(参见图1)。每个小波系数按重要图的顺序(参见图2)被编码成下列四种符号之一:ZTR(零树)、IZ(孤立零)、POS(正重要系数)和 NEG(负重要系数),其编码过程参见图3。

整个 EZW 的编码过程是在阈值的意义下用上一级的小波系数预测下一级的小波系数,每次阈值的选取按递减方式来实现逐级量化,这样使最后所产生的比特流可以按对应的幅值大小分层次地排列,从而实现了图像的逐次逼近。

上述过程一直进行下去,直到所有的码流被处理完毕(参见图5)。

4.2.3 基于重排系数的空间可分级编码 方案中对重排系数的空间可分级编码可以采用基于图5所示子带顺序的一般小波子带量化的编码方法,可以根据具体情况来选择相应的量化方案。

4.3 空间与数率可分级混合编码方案二

4.3.1 基本思想 所给出的另一种方案是在空间可分级确定情况下,实现连续数率可分级编码。该方案采用了一种基于空间分层的零树小波编码机制,即随着空间分辨率的递增,对前一空间分辨率状态下的嵌入式码流进行调整和扩充,以形成新的空间分辨率下的嵌入式码流,在此基础上实现该空间分辨率情况下的数率可分级解码,其总体过程如图6所示。

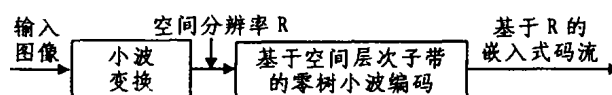


图6 混合编码方案二总体结构图

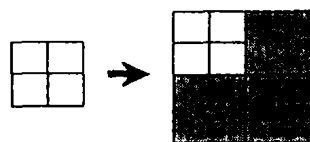


图7 空间分辨率由 $1/2^{M-1}$ 变为 $1/2^{M-2}$ 时子带的变化

4.3.2 基于空间层次子带的零树小波编码 假设图像被小波分解为 M 层,当空间分辨率为 $1/2^{M-1}$ 时,对有贡献的顶层的四个子带,用 EZW 方法进行编码,得到相应的嵌入式码流 BitStream1;当空间分辨率由 $1/2^{M-1}$ 变为 $1/2^{M-2}$ 时,相应贡献的子带增加了三个(参见图7),此时需要对码流 BitStream1 进行调整和扩充以形成新的嵌入式码流。不失一般

(下转封四)

(上接第124页)

性,下面我们对该种情况为例来说明算法的实现过程,当空间分辨率进一步提高时,对码流的调整和扩充只是对该过程的递归形式。

从码流 BitStream1 的始端开始,对每一码字根据当前的阈值进行分析,如果当前码字为重要系数码或孤立零码,则无需进行调整;如果当前码字为零树根码,则需要对新“扩充”进来的子带中相应的后代系数进行判断;如果它们均小于当前阈值,则该零树根码仍然保持不变;如果后代系数中存在大于当前阈值的系数,则需将该零树根码改为孤立零码,同时将原子带中该零树根码的后代系数的位置填充为数值零。上述过程一直进行下去,直到码流 BitStream1 被处理完为止,然后对新“扩充”进来的各子带,按照图2所示的顺序进行零树小波编码,并将所编码字“续接”到码流 BitStream1 的后端,以形成新的嵌入式码流,该码流即可实现基于当前空间分辨率的数率可分级编码。

5. 试验

为了验证方案的有效性,我们对一些图像进行了编码。试验中所使用的滤波器为 MPEG-4 省缺的 9/3 奇次对称双正交小波,其中低通分解滤波器系数 $g[0..8] = \sqrt{2} \cdot \{3, -6, -16, 38, 90, 38, -16, -6, 3\}/128$,高通分解滤波器系数为 $h[0..2] = \sqrt{2} \cdot \{-1, 2, -1\}/4$,图像被分解3层。图10和图11分别给出了两种混合方案对 Lena 和 Goldhill 图像 (8bpp, 512×512) 进行编码的情况。其中图8为整体图像数率为 0.0625bpp 时,空间分辨率分别为 1/2、1/4 和 1/8 的解码图形;图9为空间分辨率为 1/2 时,数率分别为 27.81、26.32 和 24.56 时的解码图像。



图8 Lena 图像不同空间分辨率时的解码图像

结束语 本文提出两种基于零树小波的图像空间与数率连续可分级编码的混合方案,一种是在连续数率可分级确定前提下的空间可分级编码方案,该方案首先利用嵌入式零树

小波编码机制形成嵌入式码流,然后对指定数率的码流进行空间层次重排,进而实现对指定空间分辨率的可分级解码;另一种方案是在空间可分级确定情况下,实现连续数率可分级编码方案,该方案采用了一种基于空间分层的零树小波编码机制,即随着空间分辨率的递增,对前一空间分辨率状态下的嵌入式码流进行调整和扩充,以形成新的空间分辨率下的嵌入式码流,在此基础上实现该空间分辨率情况下的数率可分级解码。这两种混合可分级编码方案在一定程度上提高了对图像进行可分级解码的有效性和灵活性。实验结果验证了方案的可行性。

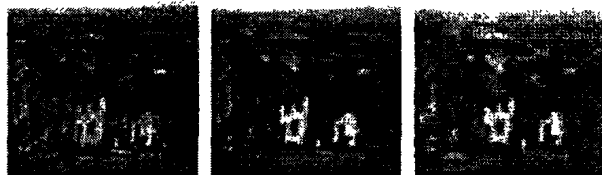


图9 Goldhill 图像空间分辨率为 1/2 时不同数率下的解码图像

参考文献

- 1 ISO/IEC JTC1/SC29/WG 1, ISO/IEC FCD 15444-1: Information technology JPEG 2000 image coding system: Core coding system [WG 1 N 1646R], march 2000. <http://www.jpeg.org/FCD15444-1.htm>
- 2 Daubechies I. Orthonormal bases of compactly supported wavelets. Communication of Pure and Applied Mathematics, 1988, 410(xII): 909~996
- 3 Shapiro J M. Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445~3462
- 4 Said A, Pearlman W. An New, Fast and Efficient Image Codec Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees. IEEE Transactions Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(3): 243~249
- 5 Xiong Z, Ramchandran K, Orchard M T. Space-Frequency Quantization for Wavelet Image Coding. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(5): 677~693
- 6 Servetto S D, Ramchandran K, Orchard M T. Image coding based on a morphological representation of wavelet data. IEEE transactions on image processing, 1999, 8(9): 1161~1174
- 7 Taubman D. High performance scalable image compression with EBCOT. IEEE Trans. Image Proc., 2000, 9(7)

计算机科学

(1974年1月创刊)

第29卷第6期(月刊)

2002年6月25日出版

中国标准刊号: ISSN 1002-137X
CN50-1075/TP

定价: 18.00元 国外定价: 5美元

邮发代号: 78-68

发行范围: 国内外公开

主管单位: 国家科学技术部

主办单位: 国家科技部西南信息中心

编辑出版: 《计算机科学》杂志社

重庆市渝中区胜利路132号 邮政编码: 400013

电话: (023) 63500828 E-mail: jsjcx@swic.ac.cn

社长: 牟炳林

主编: 朱宗元

印刷者: 重庆科情印务有限公司

总发行处: 重庆市邮政局

订购处: 全国各地邮政局

国外总发行: 中国国际图书贸易总公司(北京399信箱)

国外代号: 6210-MO