

二维 EMD 分解的数字图像压缩

徐琼,李峰,吕回

XU Qiong,LI Feng,LV Hui

长沙理工大学 计算机与通信工程学院,长沙 410076

College of Computer and Communicational Engineering,Changsha University of Science and Technology,Changsha 410076,China

E-mail:jane-john@163.com

XU Qiong,LI Feng,LV Hui.Digital image compression on BEMD decomposition.Computer Engineering and Applications, 2009,45(5):180-182.

Abstract: BEMD provides a powerful tool for image processing. Image is decomposed into a series of IMFs and is resided after the EMD decomposition. Due to the first IMF contains details of the image, it will cause some loss with the part of high-quality when only use one method to compress image. Also the quality of compressed image is not high. In view of this situation, the first IMF and the others are treated separately. With the comparison of DCT, the conclusion is gotten.

Key words: Bidimensional Empirical Mode Decomposition(BEMD); Intrinsic Mode Function(IMF); image compression; Discrete Cosine Transform(DCT)

摘要: 二维 EMD 为图像处理提供了一个强有力的工具。图像进行 EMD 分解后,将会得到一系列的 IMF 和图像残差。由于分解出来的第一层 IMF 包含了图像的细节部分,笼统地对其进行压缩会造成图像高频部分损失,压缩图像质量不高。针对这种情况,将第一层 IMF 与其他层分开处理。通过与块离散余弦变换压缩方法进行比较,得出结论。

关键词: 二维经验模态分解;固有模态函数;图像压缩;块离散余弦变换

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2009.05.053 文章编号:1002-8331(2009)05-0180-03 文献标识码:A 中图分类号:TN919.81

1 引言

早期编码处理中,编码均为按光栅扫描的顺序进行,并且只提供单一的目标图像质量。随着图像编码传输应用的扩大,单一码流提供多种质量图像的要求开始逐渐增加,且要求编码方法具有多种表示能力。用普通顺序扫描处理方式对窄带信号传送大尺寸的图像,接收端需要大量时间才能接受到完整图像,如果发现传送的图像并非所需的内容时,会造成传输信道和传送时间的浪费。

当一种编码的码流最初能够为解码端提供一个图像的基本轮廓,随着时间的增加,后续传输逐步改善重建图像的质量,收看者会觉得比较适宜。如果发现显示内容并非所需内容时,可以立即反馈,终止编解码过程,节约了传输信道。

本文对图像进行二维 EMD 分解,得到一系列的 IMF 和残差,对 IMF 和残差分别进行编码。虽然这种方法加大了编码流的长度,可是它却很好地满足了渐进显示编码的要求。这样,随着解码过程的进行,图像的整体质量也以递增的方式改变。由于分解出来的第一层 IMF 包含了图像的细节部分,笼统地对其进行压缩会造成损失,重构后的图像质量不高。针对这种情况,将第一层 IMF 与其他层分开处理。通过与块离散余弦变换压

缩方法进行比较,得出结论。

2 EMD 算法

Hilbert-Huang^[1]变换是把复杂的信号分解为简单的单分量信号的组合。在使用 EMD 方法时,所获得的固有模态函数 IMF 必须满足两个条件:

(1)在整个信号长度上,IMF 的极值点和过零点的数目必须相等或至多只能相差一点。

(2)任意时刻,极大值点定义的上包络线和极小值点定义的下包络线的均值为零。

Huang 提出的 EMD 方法的算法步骤是:设分析信号为 $x(t)$ 。首先找到信号的极大极小值,并通过三次样条拟合来得到信号的上下包络曲线。然后计算上下包络曲线在每一点上的均值。分解后得到信号 $x(t)$ 的 IMF 分量 $c_1(t), c_2(t), \dots, c_n(t)$ 和余项 $r_n(t)$:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + r_n(t) \quad (1)$$

该分解过程可以解释为尺度滤波过程。每一个 IMF 分量都反映了信号的特征尺度,代表了信号的内在模态特征。在获得

基金项目:湖南省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Hunan Province of China under Grant No.07JJ3120);湖南省教育厅科学研究项目(the Scientific Research Program of Hunan Provincial Education Department No.05C246)。

作者简介:徐琼(1983-),女,硕士研究生,主要研究方向:图像处理与模式识别,信息安全;李峰(1964-),男,教授,博士,硕士生导师,主要研究领域:图像处理与模式识别,信息安全;吕回(1982-),男,硕士研究生,主要研究方向:图像处理与模式识别,信息安全。

收稿日期:2008-01-11 **修回日期:**2008-03-31

了信号的 IMF 分量后,就可以对每一阶的 IMF 作 Hilbert 变换。

$$y(t)=\frac{1}{\pi}p \int \frac{x(t')}{t-t'} dt' \quad (2)$$

将 EMD 变换扩展到二维,应用到图像处理领域,算法^[2]描述过程如下:

(1)对图像进行初始化。设原图像为 $g(x,y)$,令 $r(x,y)=g(x,y)$;

(2)当 $i=1, j=1$ 时,确定 $r_{ij}(x,y)$ 的极大值和极小值点,使用适当的插值算法得到极值点的上下包络线和包络均值矩阵 $mean_{ij}(x,y)$ 。其中 i 值为求每个 IMF 的迭代次数, j 值为所求得的 IMF 的层数;

(3) $r_{ij}(x,y)=r_{ij}(x,y)-mean_{ij}(x,y), i=i+1$;

(4)重复步骤 2~4,当 $mean_{ij}(x,y)$ 满足终止条件时,得到分解的第一层 IMF;

(5) $imf_j(x,y)=r_{ij}(x,y), residue_j(x,y)=f(x,y)-r_{ij}(x,y)$;

(6) $j=j+1, r_{ij}(x,y)=f(x,y)-imf_{j-1}(x,y)$;

(7)重复步骤 2~6,得到 j 层 IMF 和残差。图像可分解为:

$$g(x,y)=\sum_{i=1}^N imf_j(x,y)+residue_N(x,y) \quad (3)$$

第 4 个步骤中的终止条件为:

$$SD=\sum_{x=0}^X \sum_{y=0}^Y \left[\frac{|r_{ij}(x,y)-r_{(i-1)j}(x,y)|^2}{r_{(i-1)j}(x,y)} \right] < r \quad (4)$$

r 值的选取关系到 EMD 分解出的 IMF 的数目,根据实际情况的需要,选择所需 r 值的大小。

插值方法采用的是三次样条插值。在数学上,光滑程度的定量描述是:函数(曲线)的 K 阶导数存在且连续,则称该曲线具有 K 阶光滑性。三次样条插值具有较低次多项式,并具有较高阶光滑性,是一种很好的插值方法。

由于三次样条插值方法很难保证端点外的插值精度,会对生成的 IMF 分量造成严重的误差。因此必须使用适当的方法来抑制边界效应。目前神经网络延拓和镜像延拓方法最为常用。本文采用镜像延拓方法来对图像边界进行处理。通过后面的实验结果表明,该方法简单实用,对边界效应的抑制显著。

3 图像压缩编码

进行 EMD 分解后,图像被分解成一系列的 IMF(固有模态函数)和残差。对图像进行压缩就是对分解出来的 IMF 和残差进行压缩。分解出来的 IMF 要比图像本身更加平滑,只有第一层 IMF 包含了图像的非平滑部分。因此第一层的 IMF 和其他层 IMF 分开进行处理。

如果对第一层 IMF 做块离散余弦变换,会对图像的细节部分造成很大程度的损失,图像压缩后重构的效果也很不理想。因此,借鉴 DCT 的分块处理方法采用多抽样方法对第一层 IMF 进行处理。图 1 为第一层 IMF 的块的多抽样模型,图 2 为第一层 IMF 的块重构模型。下面将介绍对第一层 IMF 进行块多抽样编码的基本步骤。

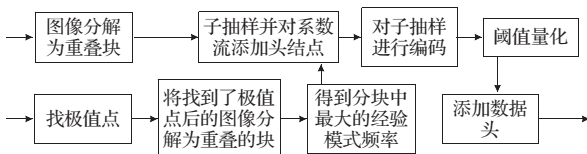


图1 块的多抽样模型

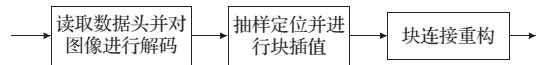


图2 块的重构模型

3.1 图像分解为重叠块

为了方便对分块后的图像进行抽样和防止块的边界效应,经验模式分解后的第一层 IMF 被分成大小为 7×7 的边界部分重叠的像素块。

3.2 经验模式频率

相对于传统傅立叶变换中用来描述信号振荡的频率,提出经验模式频率。 d 为两相邻极值点之间的距离。经验模式频率^[3]定义为:

$$f_e = \frac{1}{2d} \quad (5)$$

其中每个分块中多个 f_e 值的最大值作为分块的经验模式频率的值。由于 f_e 值大小反映了每个分块中极值点的疏密程度,当 f_e 值越大时,说明该分块波动很大,含有图像的大量高频细节成分,当 f_e 值越小时,则说明该分块包含图像的低频成分比较多。根据 f_e 值的大小来对分块进行多采样。

3.3 重叠块的抽样

极值点数量多的分块会有较高的经验模式频率,极值点少甚至没有极值点的块,经验模式频率则会偏低。由于 IMF 的不一致性每个分块会有不同的经验模式频率,对不同块的 IMF 的采样率^[4]将会不同。由于抽样过程要满足香农定理,对经验模式频率高的块全部采样,而对于其他情况,则根据各块经验模式频率的大小来分别进行采样。

通过分别对极值点的行和列进行分析,采用可分离的方法来寻找各块经验模式频率的最大值。把对块的采样分为 4 种情况,在整个 IMF 中,求得最大的块经验模式频率最大值为 n ,将 n 等分为 4 个区间。根据处于不同的区间的各分块经验模式值的大小,对块分别进行抽样。

当 $f_e \in [0, \frac{1}{4}n]$ 时,对每 6 个像素点进行采样;当 $f_e \in (\frac{1}{4}n, \frac{1}{2}n]$ 时,对每 3 个像素点进行采样;当 $f_e \in (\frac{1}{2}n, \frac{3}{4}n]$ 时,对每两个像素点进行采样;当 $f_e \in (\frac{3}{4}n, n]$ 时,对每个像素点都进行采样。如图 3 显示了对块采样的四种方式:

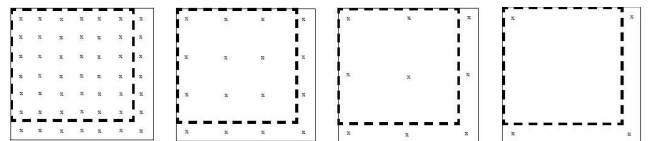


图3 7×7 大小的重叠块进行多抽样的 4 种方式

除此之外,还要对各分块的极值点也进行采样。由于上面的抽样方法不能保证对各块的极值点也进行了采样,势必在插值重构的时候造成图像的失真,本文对极值点也进行采样。

在完成对第一层 IMF 进行多采样以后,接下来对采样的结果进行编码压缩。文献^[3]中对分块的采样没有包含极值点的部分,为此做出了一些改进。由于要保证第一层 IMF 的压缩质量,采用编码效果很好的熵编码对抽样结果进行编码。与离散余弦变换编码长度比较,该算法码长适中,而解码后重构的图像质量有显著提高。

3.4 块连接重构

完成对图像块的多抽样后,对抽样后每块的数据流加入头结点,来区分每块的数据。对第一层 IMF 进行图像重构时使用大小为 7×7 的边界部分重叠的像素块可以减少块的边界效应。数据流中两个比特大小的头结点中包含了块的抽样率和该图像块数据流的长度信息。为了防止重构时数据重叠,每一块的数据流只提供大小为 6×6 的块抽样值,然后从邻接块中得到其余的像素。

与之前一样对抽样点使用三次样条插值,将使这些块中抽样不规则的点连接起来。这就是对第一层 IMF 的压缩全部过程。

4 实验结果及展望

在 matlab7.0.4 的环境下,对大小为 128×128 的 lena 图像进行 BEMD 分解。图像被分解为 3 个 IMF 和剩余残差。



图4 Lena 图像的 BEMD 分解过程(128×128)

将分解出来的 IMF 和残差进行 DCT 压缩变换,下面图像从左至右依次为经过 DCT 变换后重构的结果。可以看出普通的 DCT 变换重构后的图像有比较明显的块效应。



图5 经过 DCT 变换后重构的结果

本文方法对第一层的 IMF 进行多抽样压缩编码。由于剩下的 IMF 层和残差中包含的细节部分很少,为了提高压缩速度,使用比较常用的块离散余弦编码来对其进行压缩。由于块离散余弦编码对图像进行处理后会带来很明显的方块效应,采用文献[5]中提出来的零掩盖技术^[6]来消除方块效应。图 6 为本文方法的实验结果。

从实验结果可以看出,通过与 DCT 方法进行比较,使用经



图6 本文方法的重构结果

表1 两种算法对各项重构后的 PSNR 值比较 dB

压缩算法	lena	imf1	imf2	imf3	residue
BDCT	16.277 8	24.162 6	29.222 4	30.204 5	14.047 1
本文算法	37.580 0	34.861 5	36.566 9	37.550 1	22.533 9

验模式频率来对第一层 IMF 进行多抽样的方法进行压缩,在码长适中的情况下,图像的压缩质量有很大提高。由于其他的 IMF 和残差采用改进了的块离散余弦变换,比较明显地消除了块效应,也提高了图像的压缩质量。对图像进行 EMD 分解后的各分量分别进行编码,很好地满足了渐进显示编码的要求,虽然增加了编码的复杂度,但是在一定程度上节约了传输信道。

要找到一种更好的方法来对图像进行压缩和解压仍然是需要继续研究的问题。由于 EMD 方法还处于发展阶段,其中有很多的问题还需要研究和探讨,因此需要更深入的工作。

参考文献:

- [1] Huang N E.The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for non-linear and non-stationary time series analysis[C]// Proceedings of Royal Society.London:The Royal Society,1998: 903-995.
- [2] Damerval C,Meignen S,Perrier V.A fast algorithm for bidimensional EMD[J].IEEE Signal Processing Letters,2005,12(10):701-704.
- [3] Linderhed A.Adaptive image compression with wavelet packets and empirical mode decomposition[D].SE-581 83 Linköoing:Department of Electrical Engineering Linköping University,Sweden,2004.
- [4] Bookstein F L.Pincipal warps:thin-plate splines and the decomposition of deformations[J].IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1989,11(6):567-584.
- [5] 石敏,易清明,刘金梅.一种基于边缘检测的去块效应算法[J].计算机工程与应用,2007,43(8):27-36.
- [6] Zeng B.Reduction of blocking effect in DCT-coded images using zero-masking techniques[J].Signal Processing,1999,79(2):205-211.

(上接 134 页)

4 小结

针对上述提出的基于双优先级的 IPv4 单播查表解决方法,本文对这种查表方法进行了验证,如图 5 所示。可见,在没有配置 VRF 表项之前及配置了 VRF 表项之后,IPv4 单播报文的查表关键字及 TCAM 命令总线的输入值没有变化,表明两次查找搜索的都是同一功能段,但 TCAM 返回的索引地址值却不一样了,表明它们命中了不同的查表子段。

在实际的应用中,VRF 表项和 FTN 表项的容量各为 4 K,而 IPv4 单播表项的容量是 128 K,基于双优先级的 IPv4 单播查表方法通过多消耗 IPv4 单播查表时 $1/16$ 的功率解决了 IPv4 单播报文多表优先级查找带来的转发引擎效率低下、资源占用过多的问题,对有多表查找需求的路由器查表提供了一种新的解决思路。

参考文献:

- [1] 张兴明.大规模接入汇聚路由器(ACR)总体技术规范[S].国家数字交换系统工程技术研究中心,郑州:信息工程学院,2005.
- [2] 李玉峰.基于 IPv6 路由器的高速转发技术研究与实践[D].信息工程大学,2004.
- [3] 刘鹏,张兴明.基于 TCAM 的二级路由查找[J].计算机工程,2007,33(4):108-112.
- [4] IDT Corporation.IDT 75K72100 datasheet[R].November 2002:15-41.
- [5] 华为公司.跨域 MPLS VPN 配置和标签分配专题.华为产品维护资料,2005:3-14.
- [6] 周立力.基于 TCAM 技术的高速路由查找方案[J].计算机应用,2003,23(9):17-19.
- [7] Michigan University,Merit Network.Internet performance and analysis(IPMA) project.[2002].http://www.merit.eduP~ipma.