



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108419083 B

(45)授权公告日 2020.09.15

(21)申请号 201810241371.7

CN 104680561 A,2015.06.03

(22)申请日 2018.03.22

CN 106898007 A,2017.06.27

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 104574308 A,2015.04.29

申请公布号 CN 108419083 A

CN 105787970 A,2016.07.20

(43)申请公布日 2018.08.17

Mohit Kalra等.Image Compression Using

(73)专利权人 南京邮电大学

Wavelet Based Compressed Sensing and

地址 210003 江苏省南京市新模范马路66

Vector Quantization.《ICSP2012

号南京邮电大学

Proceedings》.2013,

(72)发明人 胡栋 何永洋 丁健宇

Amir Said等.A New, Fast, and

(74)专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限

Efficient Image Codec Based on Set

公司 32224

Partitioning in Hierarchical Trees.《IEEE

代理人 母秋松 董建林

TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR

(51)Int.Cl.

VIDEO TECHNOLOGY》.1996,

H04N 19/63(2014.01)

Zhaohui Zeng等.SAR Image Data

H04N 19/96(2014.01)

Compression Using a Tree-Structured

(56)对比文件

CN 104574450 B,2017.06.16

Wavelet Transform.《IEEE TRANSACTIONS ON

GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING》.2001,

审查员 赵慧敏

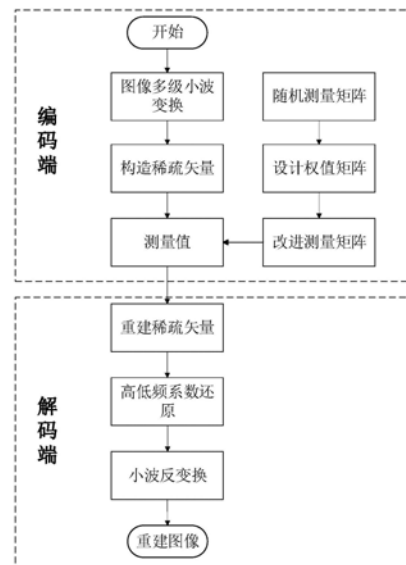
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

一种图像多级小波全子带压缩感知编码方法

(57)摘要

本发明提出了一种图像多级小波全子带压缩感知编码算法对自然图像进行稀疏表示,将图像变换到具有极大稀疏性的小波域,低频子带对于重建图像非常重要,高频系数中每个元素及其子孙后代重要性和不同高频层系数的稀疏程度是不同的,根据稀疏矢量中高频子带系数的不同重要性来设计权值矩阵,并依据高层子带能量是低层子带能量倍的关系来设置对应每一高频层的权值,并最终得到改进的测量矩阵,最后对稀疏矢量进行压缩观测后得到测量值。在重建端,对有HL,LH和HH高频子带组成的稀疏矢量中,最终对重建系数矩阵进行小波反变换得到重建图像。



1. 一种图像多级小波全子带压缩感知编码方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,图像的稀疏表示:将一副大小为 $M \times N$ 的二维灰度图像 I ,进行 B 层小波变换,将图像变换到稀疏域;

步骤2,构造稀疏矢量 s :图像小波变换后,根据高频系数在不同尺度间的父子关系以及后代的二叉树结构,由所有高低频子带系数构造稀疏矢量;

步骤3,构造权值矩阵:图像小波变换后,根据高低频子带系数,在不同层之间的重要性的不同来构造权值矩阵,高低频子带系数指高频系数和低频系数;图像小波变换后,根据低频系数及不同层高频系数对重建图像的不同重要性来构造权值矩阵;

步骤4,改进测量矩阵:在生成随机测量矩阵后,将随机测量矩阵的每一行系数与权值矩阵进行点乘,得到改进的随机测量矩阵,并最终由改进的随机测量矩阵和稀疏矢量得到压缩后的观测值;

步骤5,在解码端,由观测值重建得到重建后的稀疏矢量,同时恢复高低频子带系数,进行小波反变换得到重建图像;

所述步骤2具体包括以下步骤:

(201) 对图像进行 B 层小波变换;

(202) 对一个最高层 LH 子带系数 (i, j) ,将其值作为稀疏矢量 s 中的第一个位置;

(203) 在变换域矩阵中,子带系数 (i, j) 的四个子系数为 $(2i-1, 2j-1)$, $(2i-1, 2j)$, $(2i, 2j-1)$, $(2i, 2j)$;将点 (i, j) 定义为根节点,并根据小波变换父子系数间的二叉树结构来构造深度为 B 层的满二叉树;

(204) 对所述满二叉树进行先序遍历,防止稀疏矢量中非零系数过于集中,依次将系数值放置到稀疏矢量中的相应位置;

(205) 将对应于最高层高频系数的 LL 子带系数插入到稀疏矢量的第一个位置;

(206) 返回步骤(202),依次完成 LH, HL, HH 子带的系数构成的稀疏矢量;其中, LL 表示低频子带, LH 表示高频子带, HL 表示垂直高频子带, HH 表示对角高频子带;

在构造完成后,每个稀疏矢量的维度 L 为:

$$L = 1 + \sum_{i=1}^B (4^{i-1})$$

稀疏矢量总个数 n 为:

$$n = 3 \times \left(\frac{M}{2^B}\right) \times \left(\frac{N}{2^B}\right)$$

;

所述步骤3包括以下步骤:

(301) 设计一个深度为 B 层的满二叉树;

(302) 将所述满二叉树的根节点值设置为1,第二层节点值设置为 $\frac{\sqrt{2}}{2}$,并随着层数加深,

依次将节点值设置为上一层节点值的 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 倍;倍;

(303) 在将满二叉树的所有节点都赋值完成后,对所有节点进行先序遍历,形成一个维度为 $(L-1)$ 的权值矩阵;

(304) 将对应于低频系数的权值1插入到权值矩阵的第一个位置;

所述步骤4包括以下步骤:

(401) 随机生成一个大小为 $m \times L$ 的高斯矩阵 $\Phi = \{a_{pq}\}$, $1 \leq p \leq m, 1 \leq q \leq L$, 其中 L 为稀疏矢量的维度(长度), m 为对 L 长的稀疏矢量 s 在压缩观测后的观测值维度;

(402) 将随机高斯矩阵 Φ 的每一行值 a_p 与权值矩阵 T 的转置进行点乘, 其公式为

$$\hat{a}_p = a_p \times T^T, \text{ 在点乘完成后, } \hat{\Phi} = \{ \hat{a}_{pq} \} \text{ 即为改进的随机测量矩阵;}$$

\hat{a}_p 表示点乘后 $\hat{\Phi}$ 的每一行值;

(403) 将构造的稀疏矢量 s 和改进的随机测量矩阵进行相乘 $\hat{\Phi}$, 即 $y = \hat{\Phi} \times s$, 得到稀疏矢量 s 在编码端经过压缩观测后的观测值 y 。

2. 根据权利要求1所述的一种图像多级小波全子带压缩感知编码方法, 其特征在于, 步骤5所述包括以下步骤:

(501) 由解码端得到的测量值 y , $Y = [y_i]$, $1 \leq i \leq n$, 使用压缩感知的重建算法, 获得重构后的稀疏矢量 \hat{s} ;

重建稀疏矢量 \hat{s} : 对由编码端得到的测量值 Y , 通过使用压缩感知的重建算法, 将具有稀疏性的高维信号 s 从解码端得到的测量值 y 中复原出来, 得到重构后的稀疏矢量 \hat{s} ;

(502) 在HL, LH和HH高频子带组成的稀疏矢量中, 将第一个系数提取出来, 进行均值处理, 得到低频子带;

(503) 将重建后的稀疏矢量中的元素, 按照与构造稀疏矢量相反的方法将对应矢量元素放到重建矩阵的对应高频系数位置;

(504) 对重建矩阵进行小波反变换, 得到重建图像。

3. 根据权利要求1所述的一种图像多级小波全子带压缩感知编码方法, 其特征在于, 高低频子带系数指高频系数和低频系数。

一种图像多级小波全子带压缩感知编码方法

技术领域

[0001] 本发明属于图像数据处理技术,具体涉及到一种使用改进的测量矩阵对构造的稀疏矢量进行压缩感知观测的方法,属于图像处理分析技术领域。

背景技术

[0002] 随着当代信息科学技术的快速发展,人们对信息量的需求也在不断的增加,尤其在当今社会视频监控、医疗成像、雷达和无线传感网络等海量图像数据方面。海量的图像数据给通信带宽和存储介质带来了巨大的负担,因此,海量图像数据的获取、压缩、存储、传输和重建等都面临着巨大的挑战,如何对图像信号进行有效的获取,处理和重建就成为了信号处理领域的一个热点问题。

[0003] 传统的数字图像处理技术是建立在Nyquist采样理论和Shannon信息论的基础上。Nyquist采样理论指出重建原始信号要求采样频率至少是信号带宽的两倍。对于图像信号,为了便于存储和传输,对采样的原始信号进行了压缩编码,仅保留了重要的数据而丢弃了大量不重要的数据,这造成了采样资源的浪费。随着人们所需要处理的信号带宽的越来越大,要求的采样速率也随之剧增。传统的Nyquist采样理论和现代信号处理之间的矛盾日益显现:过高的采样速率对于传感器的信息采集能力是一个巨大的挑战,也对硬件设备提出了更高的要求。如何在对信号低速采样的同时保证采样数据包含全部的重构信息的处理方式是当前解决此类问题的有效方案。

[0004] 在2006年,Donoho等人提出的一种新的基于稀疏信号的采样压缩理论——Compressed Sensing,压缩感知(CS)。该理论指出:若感兴趣的信号是稀疏的(或可压缩的),则能以远少于香农-奈奎斯特采样定理所要求的采样频率以极大概率精确重建原始信号。与Nyquist采样定理相比,压缩感知理论的采样速率不仅更低,而且将信号的采样和压缩同时进行,即只采样对信号重建“有用”的信息,减少了很多在采样和压缩过程中的不必要的“浪费”,节约了大量的硬件和软件资源。

[0005] 在当前的用于图像处理的压缩感知理论研究中,信号的稀疏表示,非相关测量和非线性优化重建是三个关键部分。其中,常用的图像稀疏表示方法为使用DWT或DCT基将图像变换到稀疏域;非相关测量是使用随机测量矩阵对稀疏信号进行观测,常用的测量矩阵有随机高斯矩阵,随机伯努利矩阵等;常用的非线性优化重建方法有匹配追踪算法(BP),凸集投影算法(POCS)等。在当前使用小波基变换的研究中,很多的算法是只对图像小波变换后的稀疏的高频区域进行压缩感知采样,虽然对稀疏区域进行了分块处理,减少了稀疏矢量的长度,但忽略了高频系数间的父子关系。如何利用图像小波系数间的父子关系,并由此构造随机测量矩阵进行观测,以提高重建图像质量是一个急需解决的问题。

发明内容

[0006] 本发明要解决的问题是利用图像小波变换后高频系数的二叉树结构构建稀疏矢量,进行压缩感知观测,保证在有效测量率的条件下提高图像重建质量。

[0007] 为此,本发明提出一种不同的构造稀疏矢量和改进测量矩阵的方法。本发明的基本思想是:对图像进行稀疏表示,将图像变换到具有极大稀疏性的小波域。在图像的小波变换域中,可以看到图像的小波变换系数矩阵的多分辨率的特性。这是因为在图像小波变换后,最高层变换系数中有一个图像近似内容的低频子带LL,和三个不同方向的高频子带HL, LH和HH,且低频子带对于重建图像最重要,除了最低层高频系数外,每个高频子带系数都有一个 2×2 的下一层子带系数。高频系数中每个元素及其子孙后代的重要性的不同,即高层高频子带的每个系数的重要性大于低层高频子带的重要性,高层高频子带的稀疏度小于低层高频子带的稀疏度,并以此类推。因此我们可以根据小波系数的这个特性来构造稀疏矢量,并将低频子带系数插入到矢量的第一个位置,将低频子带同样用于压缩观测,则每个低频系数出现在三个稀疏矢量中。根据稀疏矢量中高频子带系数的不同重要性来设计权值矩阵,并依据高层子带能量是低层子带能量倍的关系来设置对应每一高频层的权值,并最终得到改进的随机测量矩阵,最后对稀疏矢量进行压缩观测后得到测量值。在重建端,对由HL, LH和HH高频子带系数组成的稀疏矢量中,将第一个系数提取出来,进行均值处理,得到低频子带,最终和系数位置还原的高频子带进行小波反变换得到重建图像。

[0008] 本发明技术方案如下。

[0009] 一种图像多级小波全子带压缩感知编码方法,包括以下步骤:

[0010] 步骤1,图像的稀疏表示:将一副大小为 $M \times N$ 的二维灰度图像I,进行B层小波变换,将图像变换到稀疏域;

[0011] 步骤2,构造稀疏矢量s:图像小波变换后,根据高频系数在不同尺度间的父子关系以及后代的二叉树结构,由所有高低频子带系数构造稀疏矢量;

[0012] 步骤3,构造权值矩阵:图像小波变换后,根据高低频子带系数,在不同层之间的重要性的不同来构造权值矩阵,高低频子带系数指高频系数和低频系数;图像小波变换后,根据低频系数及不同层高频系数对重建图像的不同重要性来构造权值矩阵;

[0013] 步骤4,改进测量矩阵:在生成随机测量矩阵后,将随机测量矩阵的每一行系数与权值矩阵进行点乘,得到改进的随机测量矩阵,并最终由改进的随机测量矩阵和稀疏矢量得到压缩后的观测值;

[0014] 步骤5,在解码端,由观测值重建得到重建后的稀疏矢量,同时恢复高低频子带系数,进行小波反变换得到重建图像。

[0015] 较优地,步骤2具体包括以下步骤:

[0016] (201) 对图像进行B层小波变换;

[0017] (202) 对一个最高层LH(LH指高频)子带系数 (i, j) ,将其值作为稀疏矢量s中的第一个位置;

[0018] (203) 在变换域矩阵中,子带系数 (i, j) 的四个子系数为 $(2i-1, 2j-1)$, $(2i-1, 2j)$, $(2i, 2j-1)$, $(2i, 2j)$;将点 (i, j) 定义为根节点,并根据小波变换父子系数间的二叉树结构来构造深度为B层的满二叉树;

[0019] (204) 对所述满二叉树进行先序遍历,防止稀疏矢量中非零系数过于集中,依次将系数值放置到稀疏矢量中的相应位置;

[0020] (205) 将对应于最高层高频系数的LL(低频子带)子带系数插入到稀疏矢量的第一

个位置；

[0021] (206) 返回步骤(202)，依次完成LH(LH指高频)，HL(垂直高频子带)，HH(对角高频子带)子带的系数构成的稀疏矢量；

[0022] 在构造完成后，每个稀疏矢量的维度L为：

$$[0023] \quad L = 1 + \sum_{i=1}^B (4^{i-1})$$

[0024] 稀疏矢量总个数n为：

$$[0025] \quad n = 3 \times \left(\frac{M}{2^B}\right) \times \left(\frac{N}{2^B}\right)$$

[0026] 较优地，步骤3包括以下步骤：

[0027] (301) 设计一个深度为B层的满四叉树；

[0028] (302) 将所述满四叉树的根节点值设置为1，第二层节点值设置为 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ，并随着层数加深，依次将节点值设置为上一层节点值的 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 倍；

[0029] (303) 在将满四叉树的所有节点都赋值完成后，对所有节点进行先序遍历，形成一个维度为(L-1)的权值矩阵；

[0030] (304) 将对应于低频系数的权值1插入到权值矩阵的第一个位置。此处“1”表示低频系数的权值。

[0031] 较优地，步骤4包括以下步骤：

[0032] (401) 随机生成一个大小为 $m \times L$ 的高斯矩阵 $\Phi = \{a_{pq}\}$ ， $1 \leq p \leq m$ ， $1 \leq q \leq L$ ，其中L为稀疏矢量的维度(长度)，m为对L长的稀疏矢量s在压缩观测后的观测值维度；

[0033] (402) 将随机高斯矩阵 Φ 的每一行值 a_p 与权值矩阵T的转置进行点乘，其公式为

$$\hat{a}_p = a_p \times T^T, \text{ 在点乘完成后, } \hat{\Phi} = \{ \hat{a}_{pq} \} \text{ 即为改进的随机测量矩阵;}$$

[0034] \hat{a}_p 表示点乘后 $\hat{\Phi}$ 的每一行值；

[0035] (403) 将构造的稀疏矢量s和改进的随机测量矩阵进行相乘 $\hat{\Phi}$ ，即 $y = \hat{\Phi} \times s$ ，得到稀疏矢量s在编码端经过压缩观测后的观测值y。

[0036] 较优地，步骤5所述包括以下步骤：

[0037] (501) 由解码端得到的测量值y， $Y = [y_i]$ ， $1 \leq i \leq n$ ，使用压缩感知的重建算法，获得重构后的稀疏矢量 \hat{s} ；

[0038] 重建稀疏矢量 \hat{s} ：对由编码端得到的测量值Y，通过使用压缩感知的重建算法，将具有稀疏性的高维信号s从解码端得到的测量值y中复原出来，得到构后的稀疏矢量 \hat{s} ；

[0039] (502) 在HL，LH和HH高频子带组成的稀疏矢量中，将第一个系数提取出来，进行均值处理，得到低频子带；

[0040] (503) 将重建后的稀疏矢量中的元素，按照与构造稀疏矢量相反的方法将对应矢量元素放到重建矩阵的对应高频系数位置；

- [0041] (504)对重建矩阵进行小波反变换,得到重建图像。
- [0042] 较优地,高低频子带系数指高频系数和低频系数。
- [0043] 本发明的有益效果包括:
- [0044] 本发明公开一种图像多级小波全子带压缩感知编码方法在编码端,图像多级小波变换后,由全部的高低频子带系数来构造稀疏矢量,根据低频系数和不同层高频系数对重建图像的不同重要性来设计权值矩阵,并由权值矩阵来改进随机测量矩阵,进而对稀疏矢量进行压缩观测;在解码端,将重建的稀疏矢量中的高低频子带系数还原到相应位置,再进行多级小波反变换后得到重建图像。本发明将低频系数同样加入构造稀疏矢量中,而不用保留低频系数,只对高频系数进行构造稀疏矢量,并且在重建后图像的峰值信噪比更高,视觉效果更好。

附图说明

- [0045] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明;
- [0046] 图1为本发明的一种图像多级小波全子带压缩感知编码方法流程示意图;
- [0047] 图2为小波变换后的高频系数与子孙后代的树结构;
- [0048] 图3为由小波系数的四叉树结构构造稀疏矢量;
- [0049] 图4为本实施例所用的五副测试图像;
- [0050] 图5为具体实施例中当压缩感知测量率为0.3时的重建图像。

具体实施方式

- [0051] 下面结合附图并通过具体实施例对本发明作进一步详述,以下实施例只是描述性的,不是限定性的,不能以此限定本发明的保护范围。
- [0052] 为了使本发明的技术手段、创作特征、工作流程、使用方法达成目的与功效,且为了使该评价方法易于明白了解,下面结合具体实施例,进一步阐述本发明。
- [0053] 如图1所示,一种图像多级小波全子带压缩感知编码方法,包括以下步骤:
- [0054] 步骤1,图像的稀疏表示:将一副大小为 $M \times N$ 的二维灰度图像 I ,进行 B 层小波变换,将图像变换到稀疏域;
- [0055] 步骤2,构造稀疏矢量 s :图像小波变换后,根据高频系数在不同尺度间的父子关系以及后代的四叉树结构,由所有高低频子带系数构造稀疏矢量;
- [0056] 步骤3,构造权值矩阵:图像小波变换后,根据高低频子带系数,在不同层之间的重要性的不同来构造权值矩阵,高低频子带系数指高频系数和低频系数;图像小波变换后,根据低频系数及不同层高频系数对重建图像的不同重要性来构造权值矩阵;
- [0057] 步骤4,改进测量矩阵:在生成随机测量矩阵后,将随机测量矩阵的每一行系数与权值矩阵进行点乘,得到改进的随机测量矩阵,并最终由改进的随机测量矩阵和稀疏矢量得到压缩后的观测值;
- [0058] 步骤5,在解码端,由观测值重建得到重建后的稀疏矢量,同时恢复高低频子带系数,进行小波反变换得到重建图像。
- [0059] 如图2所示,步骤2具体包括以下步骤:
- [0060] (201)对图像进行 B 层小波变换;

[0061] (202) 对一个最高层LH (LH指高频) 子带系数 (i, j) , 将其值作为稀疏矢量 s 中的第一个位置;

[0062] (203) 在变换域矩阵中, 子带系数 (i, j) 的四个子系数为 $(2i-1, 2j-1)$, $(2i-1, 2j)$, $(2i, 2j-1)$, $(2i, 2j)$; 将点 (i, j) 定义为根节点, 并根据小波变换父子系数间的四叉树结构来构造深度为 B 层的满四叉树;

[0063] (204) 对所述满四叉树进行先序遍历, 防止稀疏矢量中非零系数过于集中, 依次将系数值放置到稀疏矢量中的相应位置;

[0064] (205) 将对应于最高层高频系数的LL (低频子带) 子带系数插入到稀疏矢量的第一个位置;

[0065] (206) 返回步骤 (202), 依次完成其他LH, HL (垂直高频子带), HH (对角高频子带) 子带的系数构成的稀疏矢量;

[0066] 在构造完成后, 每个稀疏矢量的维度 L 为:

$$[0067] \quad L = 1 + \sum_{i=1}^B (4^{i-1})$$

[0068] 稀疏矢量总个数 n 为:

$$[0069] \quad n = 3 \times \left(\frac{M}{2^B}\right) \times \left(\frac{N}{2^B}\right)$$

[0070] 步骤3包括以下步骤:

[0071] (301) 设计一个深度为 B 层的满四叉树;

[0072] (302) 将所述满四叉树的根节点值设置为1, 第二层节点值设置为 $\frac{\sqrt{2}}{2}$, 并随着层数加深, 依次将节点值设置为上一层节点值的 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 倍;

[0073] (303) 在将满四叉树的所有节点都赋值完成后, 对所有节点进行先序遍历, 形成一个维度为 $(L-1)$ 的权值矩阵;

[0074] (304) 将对应于低频系数的权值1插入到权值矩阵的第一个位置。此处“1”表示低频系数的权值。

[0075] , 步骤4包括以下步骤:

[0076] (401) 随机生成一个大小为 $m \times L$ 的高斯矩阵 $\Phi = \{a_{pq}\}$, $1 \leq p \leq m, 1 \leq q \leq L$, 其中 L 为稀疏矢量的维度 (长度), m 为对 L 长的稀疏矢量 s 在压缩观测后的观测值维度;

[0077] (402) 将随机高斯矩阵 Φ 的每一行值 a_p 与权值矩阵 T 的转置进行点乘, 其公式为

$$\hat{a}_p = a_p \times T^T, \text{ 在点乘完成后, } \hat{\Phi} = \{ \hat{a}_{pq} \} \text{ 即为改进的随机测量矩阵;}$$

[0078] \hat{a}_p 表示点乘后 $\hat{\Phi}$ 的每一行值;

[0079] (403) 将构造的稀疏矢量 s 和改进的随机测量矩阵进行相乘 $\hat{\Phi}$, 即 $y = \hat{\Phi} \times s$, 得到稀疏矢量 s 在编码端经过压缩观测后的观测值 y 。

[0080] , 步骤5所述包括以下步骤:

[0081] (501) 由解码端得到的测量值 $y, Y = [y_i], 1 \leq i \leq n$, 使用压缩感知的重建算法, 获

得重构后的稀疏矢量 \hat{s} ;

[0082] 重建稀疏矢量 \hat{s} :对由编码端得到的测量值 Y ,通过使用压缩感知的重建算法,将具有稀疏性的高维信号 s 从解码端得到的测量值 y 中复原出来,得到重构后的稀疏矢量 \hat{s} ;

[0083] (502) 在HL,LH和HH高频子带组成的稀疏矢量中,将第一个系数提取出来,进行均值处理,得到低频子带;

[0084] (503) 将重建后的稀疏矢量中的元素,按照与构造稀疏矢量相反的方法将对应矢量元素放到重建矩阵的对应高频系数位置;

[0085] (504) 对重建矩阵进行小波反变换,得到重建图像。

[0086] 本实施例,编码端:

[0087] 步骤1、图像的稀疏表示。对 256×256 大小的自然图像进行5层小波变换,将灰度图像变换到稀疏域,得到的稀疏系数矩阵 X ,其中,变换后的非稀疏区域即低频区域,包含了图像的主要信息;其余变换系数为高频系数,包含了图像在水平、垂直和对角方向的细节信息,共有5层高频系数。

[0088] 步骤2、构造稀疏矢量 s 。图像变换后,利用小波变换后各高频系数在不同层之间的父子关系以及系数后代的四叉树结构来构造稀疏矢量,并把低频区域同样加入稀疏矢量的构造中。当完成构造稀疏矢量 s 后,小波变换层数为5层时,每个稀疏矢量的长度 $L=342$,稀疏矢量总个数 $n=192$ 。其具体过程如下:

[0089] (201) 对图像进行 B 层小波变换;

[0090] (202) 对一个最高层HL子带系数 (i, j) ,将其值作为稀疏列矢量 s 中的第一个位置;

[0091] (203) 在变换域矩阵中,点 (i, j) 的四个子系数为 $(2i-1, 2j-1)$, $(2i-1, 2j)$, $(2i, 2j-1)$, $(2i, 2j)$ 。由根节点为 (i, j) 的深度为5层的满四叉树,对其进行先序遍历,依次将系数值放置到稀疏矢量中的相应位置;

[0092] (204) 将对应于该最高层高频系数的LL子带系数插入到矢量的第一个位置;

[0093] (205) 返回步骤(201),依次完成其他最高层HL,LH,HH的系数构成的稀疏矢量。

[0094] 步骤3、构造权值矩阵 T 。其具体操作方法如下:

[0095] (301) 设计一个深度为五层的满四叉树;

[0096] (302) 将该满四叉树的根节点值设置为1,第二层节点值设置为 $\frac{1}{\sqrt{2}}$,并随着层数加深,依次将节点值设置为上一层节点值得一半,对深度为5层的四叉树,其每层节点值分别为

$$1, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{2}, \dots$$

[0097] (303) 在将该满四叉树的所有节点都赋值完成后,对其进行先序遍历,形成一个维度为 $(L-1)$ 的权值矩阵;

[0098] (304) 将对应于低频系数的权值1插入到权值矩阵的第一个位置。

[0099] 步骤4、构造随机测量矩阵,大小为 $m \times 342$,其中 m 为稀疏矢量维度为342时在压缩观测后的测量值维度,在本发明的实施中,为了保证压缩率,测量率分别设置为0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,则 m 的大小分别为35,69,103,137,171。其具体构造随机测量矩阵步骤如下:

[0100] (401) 随机生成一个大小为 $m \times L$ 的高斯矩阵 $\Phi = \{a_{pq}\}$, $1 \leq p \leq m, 1 \leq q \leq L$,其中 L 为稀疏矢量的维度(长度), m 为对 L 长的稀疏矢量 s 在压缩观测后的观测值维度;

[0101] (402) 将随机高斯矩阵 Φ 的每一行值 a_p 与权值矩阵 T 的转置进行点乘,其公式为

$\hat{a}_p = a_p \times T^T$ ，点乘完成后， $\hat{\Phi} = \{ \hat{a}_{pq} \}$ 即为改进的随机测量矩阵；

[0102] \hat{a}_p 表示点乘后 $\hat{\Phi}$ 的每一行值；

[0103] (403) 将构造的稀疏矢量 s 和改进的随机测量矩阵进行相乘 $\hat{\Phi}$ ，即 $y = \hat{\Phi} \times s$ ，得到稀疏矢量 s 在编码端经过压缩观测后的观测值 y 。步骤5、计算观测值 $Y = [y_i]$ ， $1 \leq i \leq 192$ 。 y_i 为每个稀疏矢量 s 在压缩观测后的观测值，其计算公式为：

$$[0104] \quad y_i = \hat{\Phi} \times s$$

[0105] 其中， $\hat{\Phi}$ 为步骤4所构造的改进的随机测量矩阵， s 为步骤2所构造的稀疏矢量。因此，在编码端得到的 Y 为包含了192组稀疏矢量在压缩观测后的观测值 y_i 。由步骤5可知，观测值的维度 $m \ll 342$ ，因此由稀疏矢量 s 到观测值 y 实现了数据压缩。

[0106] 解码端：

[0107] 步骤5、重建稀疏矢量。对由编码端得到的测量值 Y ，其每一个组成 y_i ， $1 \leq i \leq 192$ ，包含了 s 的全部信息。在本实验中，使用凸集投影(POCS)的重建算法来重建稀疏矢量，将具有稀疏性的高维信号 s 从它的随机观测值 y 中复原出来，得到重建值 \hat{s} 。

[0108] 步骤6、重建图像。具体操作如下：

[0109] (601) 在HL, LH和HH高频子带组成的稀疏矢量中，将第一个系数提取出来，进行均值处理，得到低频子带；

[0110] (602) 将重建后的稀疏矢量中的元素，按照与构造稀疏矢量相反的方法将对应矢量元素放到重建矩阵的对应高频系数位置；

[0111] (603) 对重建矩阵进行小波反变换，得到重建图像。

[0112] 发明采用以上技术方案与现有技术相比，具有以下技术效果：本发明在压缩感知中的构造稀疏矢量的方法中，利用了图像特有的不同分辨层次的特点，即二叉树结构，且把低频子带插入到稀疏矢量中，不用保留低频部分。以及充分利用这些特点，使用权值进行构造随机测量矩阵，在效果上，重建图像具有更好的主观效果和峰值信噪比。

[0113] 为了验证本发明的效果，一共进行了五组实验来进行验证。

[0114] 本实施例的硬件及软件仿真环境如表1所示：

[0115] 表1本实施例的硬件及软件仿真环境

CPU	Intel® Core™ i3-3110M CPU @ 2.40GHz
内存	8.00G
操作系统	Windows7
开发环境	MATLAB R2013a
编程语言	MATLAB

[0117] 本发明除了使用具体实施方式中的lena.tiff图像外,还是用了plane.tiff, woman.tiff, crowd.tiff以及peppers.tiff等四副测试图像,其大小均为256×256。

[0118] 在本实施例中,根据当前众多将压缩感知应用于图像编解码的算法中,使用图像主观质量评价、均方误差MSE与峰值信噪比PSNR和测量率作为本实验的评价标准,其中, MSE、PSNR和测量率公式为:

$$[0119] \quad \text{MSE} = \frac{1}{M \times n} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^n (f(i,j) - f'(i,j))^2$$

$$[0120] \quad \text{PSNR} = 10 \times \log_{10} \frac{255^2}{\text{MSE}}$$

$$[0121] \quad r = \frac{m}{L}$$

[0122] 在本次实验中,为了保证图像编码后的压缩和观测值y的维度m远小于稀疏矢量的维度L,即 $m \ll L$,则应使小波变换的层数至足够多,且压缩感知的测量率不应过大。因此,本实验的小波变换层数设置为五层,且测量率不高于0.5。

[0123] 第一组实验内容为:当小波变换层数为五层,其峰值信噪比PSNR结果如表2所示,单位为dB:

[0124] 表2所提算法的重建结果表

测量率	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
Lena	26.88	27.75	28.40	29.18	29.97	30.67	31.48	32.75	33.94
Plane	23.12	24.33	25.29	26.47	27.18	28.05	28.89	29.73	31.15
Woman	29.43	30.47	31.26	32.44	33.41	34.66	35.81	36.74	38.89

[0126]	Crowd	22.15	23.32	24.37	25.33	26.47	27.51	28.86	30.25	31.64
	Peppers	23.58	24.36	25.42	26.97	28.16	29.44	30.52	31.42	32.34

[0127] 第二组实验内容为:与荣雁霞,邱晓辉等于2015年发表的《基于小波变换的分块压缩感知算法》和MohitKalra等于2012年ICSP会议上的《Image Compression Using Wavelet Based Compressed Sensing and Vector Quantization》相比,在测量率分别为0.1,0.2,0.3,0.4,0.5时的lena图像仿真对比结果如表3所示,单位为dB:

[0128] 表3所提算法与对比算法结果表

[0129]	测量率	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
	本试验	26.88	28.40	29.97	31.48	33.94
	荣雁霞等实验	26.18	27.43	28.83	30.38	32.76
	Kalra等实验	24.21	25.71	28.14	29.45	31.81

[0130] 由第一组实验中的表2以及图3和图4可知,当测量率为0.3时,测试图像在经过压缩感知观测与重建后,具有比较好的主观效果和可接受的峰值信噪比。由第二组实验中的表3可得,与对比实验相比,本实验在应用于压缩感知中的测量率相同的情况下,峰值信噪比PSNR大约有1~2dB的提升,而且本实验不仅变换层数更多,而且把低频子带加入到稀疏矢量中,不必保留低频子带,具有更高的压缩比。图5为本发明中当压缩感知测量率为0.3时的重建图像。

[0131] 本领域内的技术人员可以对本发明进行改动或变型的设计但不脱离本发明的思想和范围。因此,如果本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同的技术范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

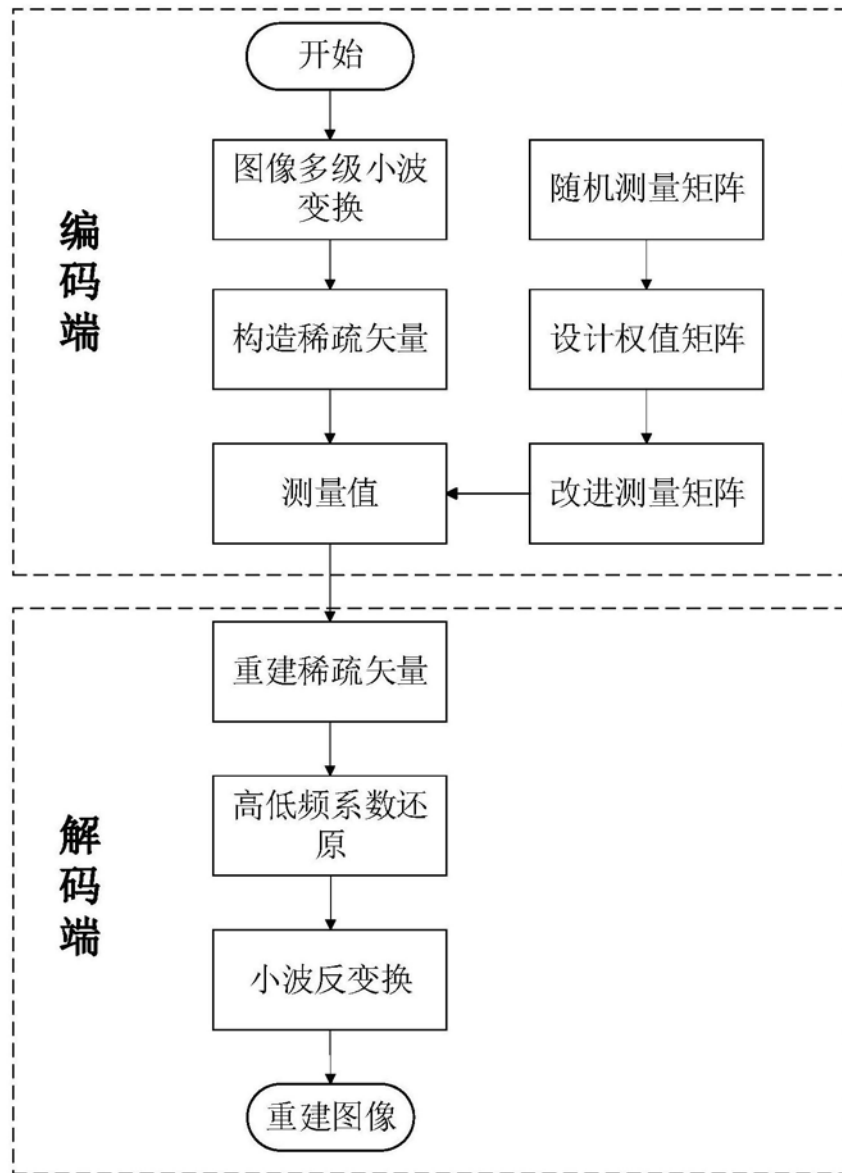


图1

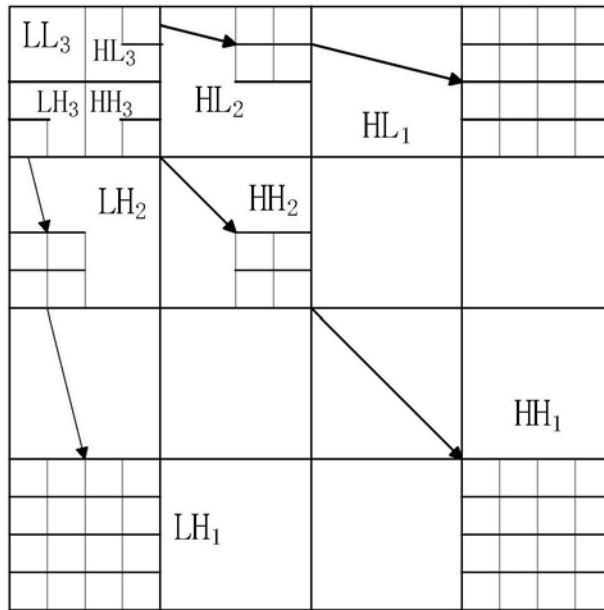


图2

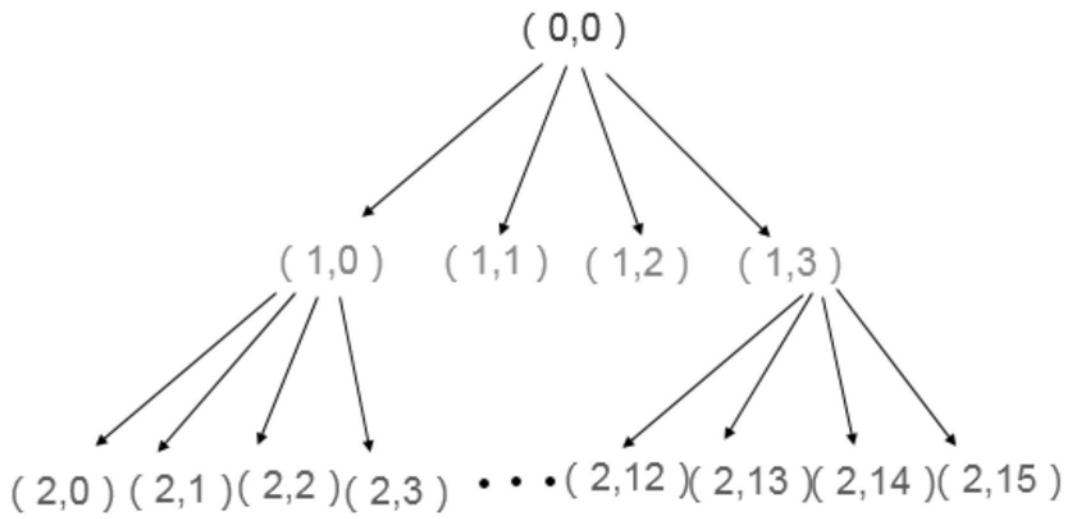


图3



图4



图5