

基于提升小波变换的 SPECK 图像编码算法

朱锦华, 许 茹, 陈华宾

(厦门大学电子工程系, 福建省厦门市 361005)

【摘 要】 提升小波变换即第 2 代小波变换, 可以实现图像的完全无损编码; SPECK (集合分裂嵌入块编码) 是基于小波变换的采用块状结构的图像编码算法。文中介绍了基于提升方法的整数小波变换和 SPECK 图像编码算法, 提出了用整数小波变换代替传统小波变换进行 SPECK 图像编码。实验结果表明, 在相同压缩比下, 该算法比 EZW (零树小波编码) 在重建图像的信噪比方面有所提高, 而与 SPHT (多级树集合分列算法) 接近。

关键词: 图像编码, 提升小波变换, SPECK

中图分类号: TN919. 81

0 引 言

在图像编码中, 图像的像素值是整数, 对其实施整数到整数的变换, 可以保证信息的无损表示, 这一点是现有的浮点离散变换包括 DCT (离散余弦变换)、DFT (离散傅里叶变换) 以及传统的小波变换都不能做到的。SweIdens 提出了一种新的小波构造方法——提升方法, 基于提升方法的小波变换不依赖于傅里叶变换, 计算简单, 易于硬件实现, 可以实现图像的完全无损编码, 被称为第 2 代小波变换。在实际应用中, 基于小波变换的图像编码有 EZW (零树小波编码)、SPHT (多级树集合分列算法) 和 SPECK (集合分裂嵌入块编码), 它们在压缩比和编码质量方面均优于传统的 DCT 变换编码。其中 SPECK 采用了块状结构, 总的来说更加简洁, 利于提高数据压缩的效果。

本文将基于提升方法的整数小波变换与 SPECK 编码有机结合起来, 给出了具体实现过程, 以及在相同压缩比下, 与 EZW、SPHT 算法在重建图像的信噪比方面的实验数据。

1 提升小波变换

提升小波变换算法的基本思想是将 Mallat 算法中的每一级滤波运算分解为分裂 (split)、预测 (predict) 和更新 (update) 三大步骤, 完成对信号的频率分解, 避免了传统小波变换卷积操作的步骤, 仅需要移位运算和加减运算, 便于硬件实现。图 1 为提升小波变换的实现流程图。

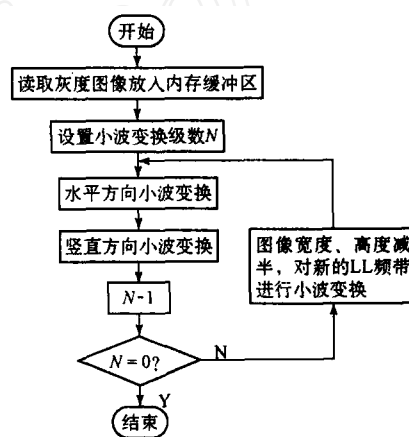


图 1 提升小波变换流程

具体实现过程如下:

1) 图像的水平方向整数小波变换

假设一个 BMP 图像经过位图读取后存在一个二维矩阵 $\text{short} ** \text{spOriginData}$ 中, 那么它经过一次水平整数小波变换的流程如下:

a) 分裂: 图像的左半边序列 X_0 存放原始图像的偶数序列, 右半边序列 Y_0 存放原始图像的奇数序列。

b) 通过图像的差分完成小波变换: 进行系数预测, 即右半边的序列 Y_0 预测为原来的右半边系数 Y_0 加上奇偶数值之和的一半求补; 并进行边界处理, 包括偶系数的边界处理和奇系数的边界处理。

c) 提升: 整数到整数的变换, 即将 Y_0 序列中的奇数序列与偶数序列求和取一半再赋值给 X_0 序列。

经过水平小波变换后的图像如图 2 所示。

2) 图像的竖直方向整数小波变换

把原始图像二维矩阵 $\text{short} ** \text{spOriginData}$ 的行列交换, 按照水平方向整数小波变换完成一次竖直方向的整数小波变换。这里不重复。

收稿日期: 2005-07-11; 修回日期: 2005-09-30。

基金项目: 国家自然科学基金 (60272028)

经过竖直方向的小波变换后的图像如图 3所示。

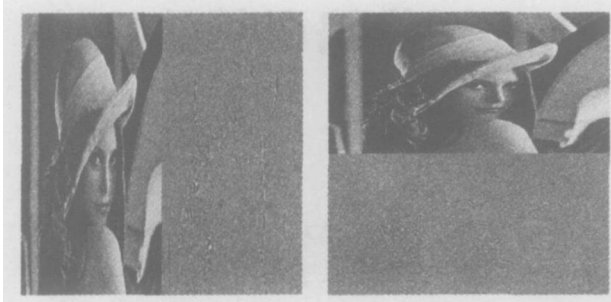


图 2 水平小波变换 Lena图 图 3 竖直方向小波变换

3) 图像的一次整数小波变换

a) 完成一次水平方向的整数小波变换: spOrigin-Data0分裂为左半边序列 X_0 和右半边序列 Y_0 。

b) 在完成一次水平小波变换基础上,为竖直方向的小波变换做准备,即

$$X_0 = X_0 \times 1.414$$
$$Y_0 = \frac{Y_0}{1.414}$$

c) 分裂:依次完成 LL 频带、HL 频带、LH 频带、HH 频带的分裂。

d) 提升奇数坐标系数,完成竖直方向的小波变换。

e) 提升偶数坐标系数。

这样就完成了一次整数小波变换。如图 4所示。

4) 图像的分解

当小波变换的级数 N 大于 1时,小波变换只对最低子带即 LL 频带进行。原始图像经过 3级小波变换后如图 5所示。

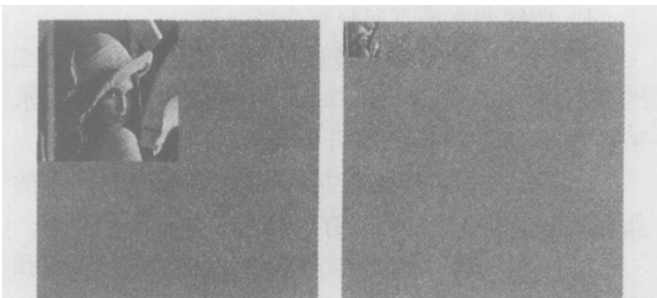


图 4 一次小波变换 图 5 3级小波变换后图像

2 SPECK 图像编码

EZW、SPIHT和 SPECK都是基于小波变换的图像编码算法。这 3种算法都是通过初始化、排序扫描、细化和量化步长更新 4个过程完成嵌入编码,差别在于对不重要系数的表示方法。EZW 采用零树结构, SPIHT采用空间方向树, SPECK采用块结构,易于计算和并行处理,提高了编码速度。

2.1 数据结构的建立

SPECK编码需要用到的数据结构有: LIS表、LSP表、S表、outline(即输出比特流)、I表。所有数据都采用结构体来处理,这样可以根据链表的使用方便地处理编码过程中所用到的数据。

2.2 扫描顺序的处理

为了方便程序对小波系数的处理,我们把小波系数从 LL 频带开始,按照 Z字型扫描顺序拉成一维数组。简单介绍如下:把经过小波变换的二维系数矩阵按照子带的顺序传递给指针数组,也就是说最低频子带 LL0给指针数 *M[0],HL0给 *M[1],依此类推。经过 3级小波变换后的图像共有 10个子带,依次传递给指针数组。接下来就是按照 SPECK的扫描顺序,从 LL 频带开始,依次将小波系数值传递给一维数组指针,这样就实现了从二维到一维的变换。

2.3 程序的主体

处理完上述准备工作后,就可进行编码。图 6为 SPECK编码的流程及具体实现。

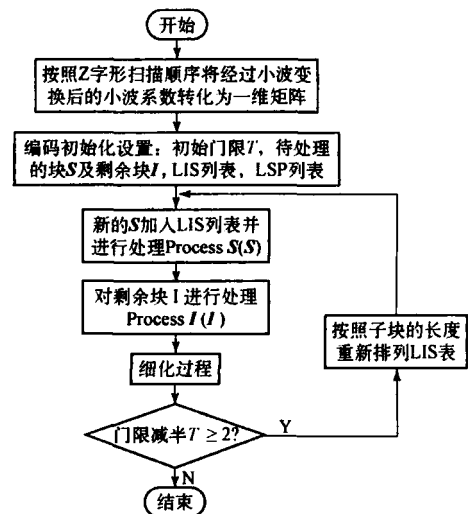


图 6 SPECK 编码流程

具体实现如下:

a) 初始化:输出 $N = \log_2(\max|c_{ij}|)$, $c_{ij} \in X$ 。分割小波变换后的图像系数矩阵 X 为两个模块 S 、 I 。 S 为最低子块, I 为剩余子块: $I = X - S$ 。添加 S 到 LIS不重要系数列表。并设置重要系数列表 LSP为空集。

b) 排序过程:对 LIS中的子块 S 的排序处理——Process S(S),对剩余的子块 I ——Process I(),其伪代码如下:

(a) Process S(S)

if S中有重要系数(即大于门限 T){

输出 1;

if S为单系数,则添加 S到重要系数列表 LSP并且输出 0(正数)或 1(负数);

else Code S(S);

```

if S 在列表 LIS 中, 则从 LIS 表中删除 S; }
else 添加 S 到 LIS 表并输出 0;
(b) CodeS (S)
分割 S 为 4 个等大小的块 O (S); 对于每个 O (S):
if O (S) 有重要系数 {
    输出 1;
    if O (S) 为单系数, 则添加 O (S) 到 LSP 并且输出 0 或者
        1;
    else Code S (O (S)); }
else 添加 O (S) 到 LIS 中并输出 0。
(c) ProcessI()
if I 不为空 {
    if I 中有重要系数, 则输出 1 并 Code I ();
    else 输出 0; }
else 返回;
(d) Code I ()
分割剩余集合 I 为 4 个子块和 1 个剩余块 I;
对 3 个 S 块进行 Process S (S);
对于剩余块 I 进行 Process I (I)。

```

c) 细化过程: 对于每一个 LSP 中的重要系数, 除了那些本次扫描出的重要系数外, 都输出第 N 比特位 (本次是第 N 次扫描)。

d) 量化过程: 扫描次数 $N - 1$, 返回步骤 b)。

3 实验结果及分析

为验证基于提升小波变换的 SPECK 图像编码算法, 本文以 512×512 像素 $\times 8$ bit 的 Lena 图像为例, 在 Pentium 4 / 1 700 MHz 的 PC 机上进行了实验, 并与 EZW、SPIHT 算法进行了比较。实验结果见图 7、图 8。

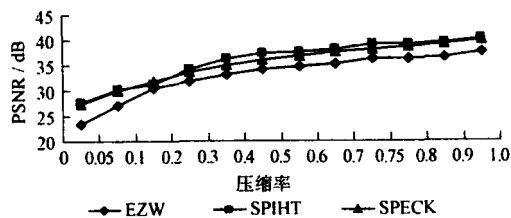


图 7 Lena (512×512 像素) 在不同压缩率 (压缩比率 / 像素) 下 PSNR (峰值信噪比) 的比较

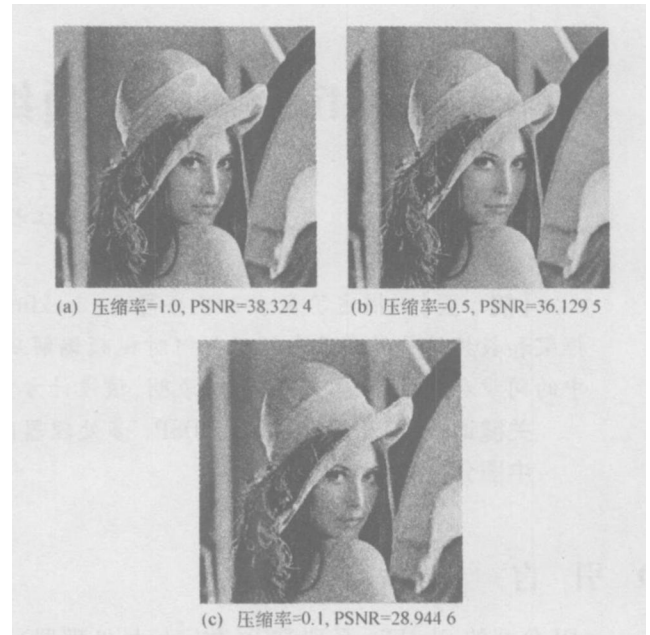


图 8 不同压缩比率下的 Lena 压缩图像

基于提升小波变换的 SPECK 算法有以下优点:

a) 采用提升小波变换, 使得算法简单快捷, 便于硬件实现, 并且能够实现图像的无损压缩。

b) 采用易于计算和并行处理的块结构, 提高了编码速度。从运行时间来看, SPECK 最快, SPIHT 次之, EZW 最慢; 从编码效果上来看, SPECK 与 SPIHT 接近, 而优于 EZW 算法。

参 考 文 献

- [1] 张旭东, 卢国栋, 冯 健. 图像编码基础和小波压缩技术: 原理、算法和标准. 北京: 清华大学出版社, 2004
- [2] Pearlman W A. Embedded Set Partition Coding <http://www.cipr.pi.edu/staff/pearlman>, 2001
- [3] Sweldens W. The lifting scheme: a custom-design construction of biorthogonal wavelets Applied and Computational Harmonic Analysis, 1996, 3(2): 186

SPECK Image Coding Algorithm Based on Lifted Wavelet Transform

Zhu Jinhua, Xu Ru, Chen Huabin

(Xiamen University, Xiamen 361005, China)

【Abstract】 This paper introduces the integer-to-integer wavelet transform (WT) based on lifting scheme and the scalable image coding—SPECK (Set Partition Embedded block algorithm). SPECK image coding algorithm based on lifted wavelet transform is also proposed. Experimental results show that the algorithm performs better than SPIHT and EZW in terms of image quality and coding/decoding time.

Keywords: image coding, lifted wavelet transform, SPECK