

文章编号:1671-6833(2013)04-0120-04

联合 Turbo 码和小波变换图像的不平等保护

张卫党, 王新丽

(郑州大学 信息工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要:通过对图像进行不平等保护来改善图像的质量和清晰度. 先对图像进行小波变换, 提取出其低频和高频数据信息, 并依据重要性的不同, 对提取出的数据信息进行划分, 然后联合 Turbo 码对划分后的图像数据信息进行不平等保护. 通过仿真数据看出本文的方案使图像的质量得到改善.

关键词:小波变换; Turbo 码; 不平等保护

中图分类号: TN919.81

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2013.04.028

0 引言

1993 年, 有学者提出了一种全新的编码方式: Turbo 码, 它巧妙地将两个简单分量码通过伪随机交织器并行级联来构造具有伪随机特性的长码, 并通过在两个软入/软出译码器间进行多次迭代实现伪随机译码. 一经提出, 便成为近年信道编码理论研究的热点问题, 并得到广泛应用^[1-3]. 笔者采用 Turbo 码信道编码方式对小波变换后提取的图像数据信息进行不平等保护. 在以往的文献中, 采用的对图像进行不平等保护的信道编码方式有 RCPC 码、RS 码, 都取得了一定的效果, 但还存在缺陷. 这两种码的纠错能力有限, 且需要产生不同速率的码字, 编码器实现起来比较复杂. 而 Turbo 码具有较强的纠错能力, 编码器结构也比较简单. 在采用 Turbo 码进行不平等保护前要先对图像进行变换来提取出高频分量, 研究者采用 DCT 变换^[4], 但它易产生方块效应, 为了克服这个缺点, 笔者采用性能较好的 Turbo 码对经过小波变换细致分解后的图像信息进行不平等保护, 并调试仿真对结果分析.

1 图像的小波变换

小波变换是时间(空间)频率的局部变换, 它能对信号进行多分辨率分析且反映信号的局部特征. 通过多级小波变换, 得到包含了表征图像局部区域的高频信息和表征图像低频信息的小波系

数, 再对小波系数进行不同级数解码, 得到不同空间分辨率的图像, 这种多分辨率分解的特性很符合人眼机制, 更适合于图像的处理.

小波变换不同于 DCT 变换, 它是一种不受带宽约束的图像处理方法. 这种方法对图像分解的实际算法是 Mallat 算法, Mallat 算法的公式为

$$C_j(n, m) = \frac{1}{2} \sum_{k, l \in Z} C_{j-1}(k, l) h_{k-2n} h_{l-2m}; \quad (1)$$

$$d_j^1(n, m) = \frac{1}{2} \sum_{k, l \in Z} C_{j-1}(k, l) g_{k-2n} h_{l-2m}; \quad (2)$$

$$d_j^2(n, m) = \frac{1}{2} \sum_{k, l \in Z} C_{j-1}(k, l) h_{k-2n} g_{l-2m}; \quad (3)$$

$$d_j^3(n, m) = \frac{1}{2} \sum_{k, l \in Z} C_{j-1}(k, l) g_{k-2n} g_{l-2m}. \quad (4)$$

式中: h, g 分别为对应同一小波基的低通滤波器和高通滤波器. C_{j-1} 为原图像; C_j, d_j^1, d_j^2, d_j^3 为小波变换后的亮度和边缘子图像, 小波变换的核心算法是 Mallat 算法, Mallat 算法的小波变换重构公式为

$$C_{k-l}(n, m) = \frac{1}{2} \left[\sum_{k, l \in Z} C_k(j, l) h_{n-2j} h_{m-2l} h_{m-2l} + \sum_{k, l \in Z} d_k^1(j, l) h_{n-2j} g_{m-2l} + \sum_{k, l \in Z} d_k^2(j, l) g_{n-2j} h_{m-2l} + \sum_{k, l \in Z} d_k^3(j, l) g_{n-2j} g_{m-2l} \right]. \quad (5)$$

笔者采用的主要是小波多分辨率分解的特性, 采用的小波基函数是 db 小波. 小波变换的多级分解, 是为了得到高频分量和低频分量, 高频分量包括水平、垂直和对角分量, 分别反映图像信号水平、垂直、对角方向的边缘、纹理和轮廓. 低频分

收稿日期: 2013-03-22; 修订日期: 2013-05-24

基金项目: 河南省教育厅自然科学研究项目(2010B510020)

作者简介: 张卫党(1958-), 男, 河南郑州人, 郑州大学教授, 博士, 主要从事信道编码研究, E-mail: iewdzhang@zzu.edu.cn.

量占据了图像大部分的能量,是重要的信息,进行重复分解可得到具有层次结构的分解,在图像重构时,加入的高频越多,图像越清晰. 笔者采用小波二级分解,如图 1 所示.

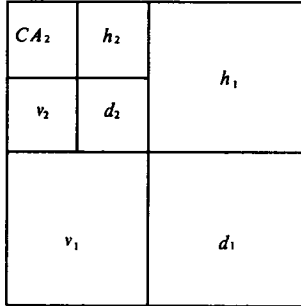


图 1 小波变换二级分解结构图 (CA_2 为逼近分量, h, v, d 分别为细节分量的垂直、水平、对角分量)
Fig.1 Structure of two-level wavelet transforms

2 Turbo 码的编译码性能

Turbo 码,又称并行级联卷积码,它巧妙地将卷积码和随机交织器结合在一起,实现了随机编码的思想,由交织器、两个或多个递归系统卷积(RSC)分量编码器、删余矩阵和复接 4 部分组成.

Turbo 码采用迭代译码方案,整个译码器由结构相同的若干级译码模块串联而成,每级译码器由两个子译码器通过交织器、解交织器连接而成,交织器与编码时的一致,每个子译码器采用软入、软出的算法,在两个子译码器间充分的交换信息,作为一个整体来译码,达到良好的译码性能.

3 联合 Turbo 码和小波变换的 UEP 方案

3.1 Turbo 码的 UEP 方案设计

将从两个归一化系统卷积码编码器得到分量编码器 G_0 和 G_1 对编码器的输入信息帧 u 进行分区:分为总共有 c 级的 $S_l (l = 1, 2, \dots, c)$, 且其大小为 K_l . 并将其按照重要性进行递减次序排列. 一般情况下,网络终端所需符号值远小于 K_c . u 中的级 S_l 按索引集 I_l 定位为: $I_l \subseteq \{1, \dots, K\}$. I_l 的集合 $\{I_l; l = 1, \dots, c\}$ 为 $\{1, \dots, K\}$ 的分区. 为了实现 UEP 技术,可对不太重要的冗余符号多加压缩,而对重要的符号少加压缩. N_l 是 turbo 码编码器的输出符号总数,与级 S_l 的输入符号相对应. 定义 $\rho_l = K_l/N_l$ 为第 S_l 级的本地码率. 设计一种 turbo 码,其每级的输入符号 S_l 由码率 ρ_l 的码进行本地保护. 为了获取总码率 ρ , 本地码率必须满足

$$\rho = \sum_{l=1}^c K_l / \left(\sum_{l=1}^c K_l / \rho_l \right), \quad (6)$$

然而,仅通过压缩不能取得 UEP 性能. 如果不同级的信息符号均匀分布在输入帧 u (或分布在其交织后的信息帧 $u\Pi$) 上, turbo 码的性能接近均匀差错保护 (EEP) 码. 此时,可以适当地选择配套集 I_l 和交织器 Π , 以提供所需的级分离^[4].

把配套集选定为区间并集. 一个区间 $[i_1, i_2] \subseteq \{1, 2, 3, \dots, K\}$ ($i_1 \geq 1$ 和 $i_2 \leq K$) 是从 i_1 到 i_2 的全体整数集. 设一个置换矩阵 Π , 把每一个配套集映射到交织帧的同样位置 (该特性叫配套集的不变性). 给定配套集的全集后,具有配套集不变性置换矩阵 Π 的级具有如下特性:

命题: 设 Σ 是唯一的 $K \times K$ 置换矩阵. 在保持每个配套集的位置次序和重要性递减的情况下, Σ 把所有配套集映射为区间, 那么所有具有配套集不变性的置换矩阵 Π 存在如下因式分解 $\Pi = \Sigma \prod \Sigma^T$. 式中, \prod 是大小为 $K_l \times K_l (l = 1, 2, \dots, c)$ 的分块对角矩阵. Σ^T 为 Σ 的转置矩阵. 例, $k = 8, c = 2, I_1 = \{1, 2, 5, 6\}, I_2 = \{3, 4, 7, 8\}$ (注意每个配套集都是宽为 2 的两个区间的并集), 那么 $\Sigma = (12\ 563\ 478)$. 考虑变更后的 $\prod = (31\ 427\ 586)$ (其矩阵是两个分块对角的 4×4 矩阵块). 那么由公式 (6) 得: $\Pi = \Sigma \prod \Sigma^T = (51\ 736\ 284)$. 很容易看出 Π 具有配套集不变性. 实际上, 输入帧 $u = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8)$ (这里符号 u_1, u_2, u_5, u_6 属于级 S_1, u_3, u_4, u_7, u_8 属于级 S_2) 就映射到 $u, \Pi = (u_5, u_1, u_7, u_3, u_6, u_2, u_8, u_4)$. S_1 和 S_2 的位置仍分别在 1, 2, 5, 6 和 3, 4, 7, 8. 给出全部本地码率 ρ_l 后, 通过把配套集分段存储在各区间中, 可以按照误比特率 (BER) 的目标使得 turbo 码具有所需的 UEP 性能.

笔者采用的 Turbo 码的参数为: $K = 2\ 048, c = 4, K_1 = 128, K_2 = 512, K_3 = 1\ 024, K_4 = 2\ 432$. 所需的总码率是 1/3. 可以把两个分量编码器设计成完全相同的 16 态、码率 1/2 的归一化系统卷积编码器 (37, 31) (八进制记数法). 本地码率为 $\rho_1 = 1/3, \rho_2 = 1/2, \rho_3 = 2/3$ 和 $\rho_4 = 3/4$. 总码率为^[3]:

$$\frac{2\ 048}{3 \times 128 + 2 \times 512 + 3 \times 1024/2 + 4 \times 2432/3} \approx 1/3$$

3.2 本文方案

笔者采用的小波变换方法, 与 DCT 变换方法

不同.小波变换后的域不仅有频域成分,还有空域成分.它的频域的低频成分在系数图左上方,越往右下方频率越高,小波变换具有多分辨率分解的特性,且小波变换是对图像信号进行全局分解,量化失真随机地分布于整幅图像中,不易被人眼所察觉,故不会产生方块效应.且其在时域和频域同时具有局域化特性,可弥补 DCT 的不足,把图像信息定位到任何精度级上以实现根据图像信息的重要性进行优先编码、传输.图像数据的每一级小波分解总是将上级低频数据划分为更精细的频带,尤其是二级小波分解,为图像分析提供了方向选择性,非常适合于人的视觉系统.笔者首先将图像进行二级小波变换提取出低频和高频信息,这样得到的低频分量 不仅比一级分解后的信息精确,还减少了数据量,缩短了仿真程序的运行速率.而后将低高频信息经过霍夫曼信源编码后同时送入信道进行编码,此时根据不同的频率成分在图像中所具有的重要性不同采用不同的编码保护方案,对重要的数据采取重点保护,而对不重要的高频成分采取不保护.经过编码保护送出信道进行解码,逆小波变换重构图像.具体的方案框图如图 2 所示.

在文献[4 - 5]中,采用的信道编码方案是 RCPC 编码和 RS 编码,这两种编码的纠错能力有限,而且需要产生不同速率的码字,编码器实现起来比较复杂.Turbo 码克服了上述两种编码的缺点,它具有很强的纠错能力,编码器实现起来比较简单,又由于很好地应用了香农信道编码定理中的随机性编译码条件而使其自身获得了接近香农理论极限的译码性能.它不仅在信噪比较低的高噪声环境下性能优越,而且具有很强的抗衰落、抗干扰能力.

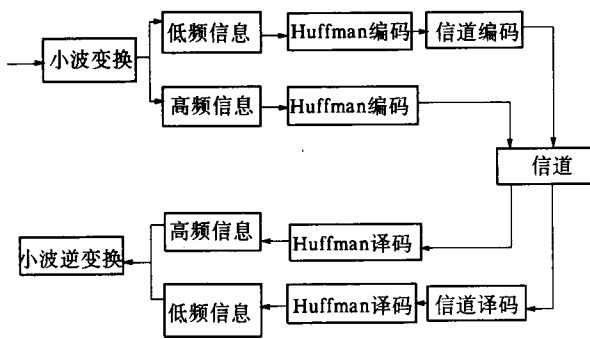


图 2 本文方案框图
Fig.2 Structure of the scheme

笔者通过采用 Turbo 码信道编码方案,对图像进行不平等保护,使重构的图像质量得到改善,经过仿真得到不同信噪比下的峰值信噪比值,其

计算公式如下:

$$PSNR = 10 \times \log\left(\frac{255^2}{MSE}\right); \tag{7}$$

$$MSE = \frac{\sum_{n=1}^{Framesize} (I^n - P^n)}{Framesize}. \tag{8}$$

MSE 指均方误差,各值相差的 n 次方和的平均值,I(角标 n)为原始影像第 n 个 pixel 值,P(角标 n)指经处理后的影像第 n 个 pixel 值.PSNR 的单位为 dB,其值越大,失真越少.

4 仿真结果

笔者选取两幅不同大小的图片:512 * 512 的 Lena 图像和 128 * 128 的猫猫 hi 图像进行仿真,选取 Turbo 码编码的参数为:5 次迭代,1/3 码率,随机交织器,Log-Map 译码算法,约束长度为 3,采用 RS(15,9),码率为 1/2.

通过仿真,得到的实验结果如下表所示,表 1 是在 Turbo 编码下分别采用 DCT 和小波变换分解图像进行不平等保护的数据,表 2 是对图 像小波变换后分别采用 RS(15,9)码和 Turbo 码编码的数据,表 3 为猫猫 hi 图像仿真数据.

表 1 在 Turbo 编码下分别采用 DCT 和小波变换分解图像进行不平等保护的数据

Tab.1 The data of DCT and wavelet transform decomposition image based on Turbo codes			dB
信噪比	DCT 变换 峰值信噪比	小波变换 峰值信噪比	
1.0	23.530 1	25.158 7	
1.5	28.547 5	29.371 8	
2.0	29.122 0	30.091 3	

表 2 对图像小波变换后分别采用 RS(15,9)码和 Turbo 码编码仿真出的数据

Tab.2 The data of wavelet transform decomposition imagebased on RS (15, 9) and Turbo codes				
dB 信噪比	RS(15,9) 编码		Turbo 码编码	
	峰值信噪比	误码率	峰值信噪比	误码率
1.0	25.158 7	5.013 9e - 001	30.633 8	1.407 5e - 002
1.5	29.371 8	1.099 0e - 002	30.870 8	1.237 2e - 003
2.0	30.091 3	2.055 7e - 003	31.070 2	4.950 7e - 006

在 RS (15,9) 编码方案下仿真图像如图 3 所示.

在 Turbo 编码方案下仿真图像如图 4 所示.

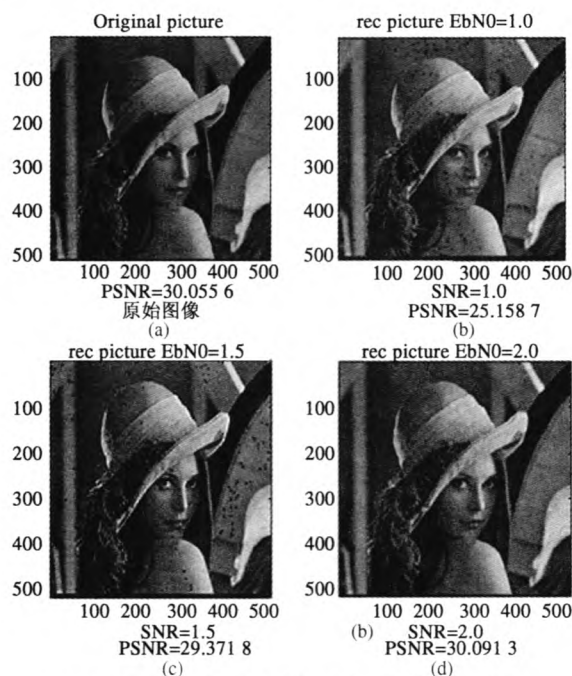


图 3 在 RS(15,9) 码编码方案下仿真图像
Fig.3 The simulation picture based on RS (15, 9)

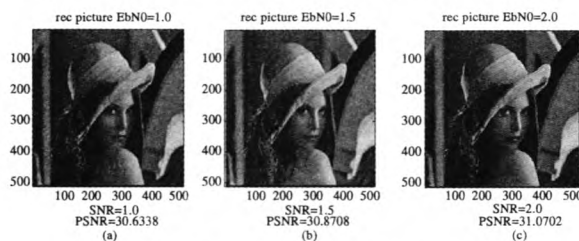


图 4 在 Turbo 码编码方案下仿真图像
Fig.4 The simulation picture based on Turbo codes

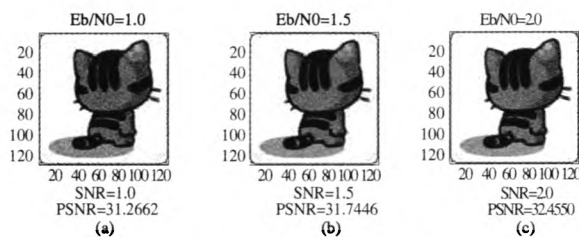


图 5 猫猫 hi 仿真图像
Fig.5 The simulation picture of maomoahi

从仿真数据和图像来看,对于同一信噪比值,

Turbo 码方式下采用小波变换方案得到的 PSNR 高于 DCT 方案;采用 Turbo 码进行 UEP 技术得到的 PSNR 和误码率值都高于采用 RS(15,9) 编码方案所得的相应值.因而可得笔者方案性能较好,且使图像质量得到改善.

表 3 猫猫 hi 图像仿真数据

Tab.3 The simulation data of maomoahi		
信噪比/dB	峰值信噪比/dB	误码率
1.0	31.266 2	1.546 3e - 002
1.5	31.744 6	7.059 6e - 004
2.0	32.455 0	1.127 6e - 004

5 结论

笔者将小波变换与 Turbo 码联合信源信道编码,根据图像不同频率成分的重要性不同,对其进行不平等的保护,而后进行仿真,通过两幅大小不同且画面不同的图片的仿真结果可更具普遍性的看出:在同一个编码方案下,小波变换要优于 DCT 变换,它不会产生方块效应且仿真得到的峰值信噪比较 DCT 高;而对经过小波变换后的图像来说,与 RS(15,9) 码联合编码的图像在较小信噪比下会出现受损情况,但是与 Turbo 码联合编码得到的图像在较低的信噪比下的视觉质量都有改善,且随信噪比的增加图像质量越好.

参考文献:

[1] BERROU C, GLAVIEUXANDP A. Thitimajshima. Near Shannon limiterror-correcting coding and decoding: Turbo-codes (1) [J]. ICC, 1993, 93: 1064 - 1074.

[2] 吴晓光,谭云兰,柳志新.基于小波多分辨率分解的图像压缩技术及分析[J].计算机与现代化,2004 (4):19 - 21.

[3] 谭明新,徐根深.差错非均匀保护 turbo 码[J].哈尔滨工程大学学报,2001,22(4):43 - 45.

[4] 基于 DCT 变换的图像压缩技术研究[J].信息技术,2006(10):133 - 134.

Unequal Error Protection of Wavelet Transform Decomposition Image with Turbo Codes

ZHANG Wei-dang¹, WANG Xin-li²

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In this paper, we extract the low and high frequency data information of the image and divide the data information according to their importance based on wavelet transform. Then we use the unequal error protection scheme combined with the Turbo codes to protect the image data. And the results show the scheme we proposed can improve the quality of the image.

Key words: wavelet transform; Turbo code; unequal error protection