

基于小波变换和零树法的水声信道 彩色图像压缩编解码研究

许 茹, 李 佳, 刘 慧, 翁维诚

(厦门大学电子工程系, 福建 厦门 361005)

摘 要: 基于小波变换和“改变了的”零树法编解码原理, 结合水声信道的特点, 构建了一个以 DSP 为核心的图像处理系统。在不同压缩比的情况下, 完成了对一幅 64×64 点阵的静态彩色图像数据的压缩和解压缩。当压缩比与传统的 JPEG 算法的压缩比相近的情况下, 解压缩后图像的总体观感效果有明显的改善, 从而对在水声信道中传输彩色图像作出了积极的尝试。

关键词: 水声信道; 小波变换; 零树法编码; 随时截断码流; 彩色图像压缩

中图分类号: TB 56 文献标识码: B 文章编号: 1003-2029 (2003) 03-0021-05

1 引言

水声信道多媒体信息传输包括了语音、图像以及数据传输。它在海洋环境、经济乃至军事领域都有着非常重要的地位, 水声信道为一窄带信道, 具有“时变-空变-频变”的特性, 加之受到声传播速度的限制 (1500 m/s), 为达到一定的实时性, 必然会严重限制可传输的信息量。对于图像信息, 特别是含有大量信息的彩色图像来说, 如何能在保证一定实时性的前提下, 完成足够信息量的传输是一项艰巨的任务。因此, 采取适合水声信道传输特性且解压后能满足一定质量的图像压缩方法, 降低需要传输的数据量就成为必须。

本文利用小波的优良特性, 对大信息量的彩色图像进行变换处理, 使用“改变了的”零树法进行编解码, 完成彩色图像的数据压缩和解压缩。作者注意到并采纳了零树法编解码的“随时截断码流”, 以及逐步恢复图像的特点, 使得能够根据水声信道的实时情况, 随时调整图像信号的压缩比, 以期得

到的重建图像质量令人较为满意。

2 工作原理与方法

2.1 小波变换、零树编码

二进制小波是由单一函数 $\psi(x)$ 经过平移和伸缩而产生的一组函数^[1], 即:

$$\Psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \Psi(2^j t - k) \quad j, k \in \mathbb{Z}$$

二维离散小波分解公式如下:

$$A^{2^j} f(k, l) = \sum_m \sum_n \sum_z A^{2^{j+1}} f(m, n) \cdot h(k - 2m) h(l - 2n)$$

$$D^{2^j} f(k, l) = \sum_m \sum_n \sum_z A^{2^{j+1}} f(m, n) \cdot g(k - 2m) h(l - 2n)$$

$$D^{2^j} f(k, l) = \sum_m \sum_n \sum_z A^{2^{j+1}} f(m, n) \cdot h(k - 2m) g(l - 2n)$$

$$D^{2^j} f(k, l) = \sum_m \sum_n \sum_z A^{2^{j+1}} f(m, n) \cdot g(k - 2m) g(l - 2n)$$

$A^{2^j} f(k, l)$ 、 $D^{2^j} f(k, l)$ 、 $D^{2^j} f(k, l)$ 、 $D^{2^j} f(k, l)$ 是分解后得到的子图像块, $h()$ 和 $g()$ 为相对应的高通、低通滤波器函数^[2]。由此可得二维离散小波分解流程图, 如图 1 所示。

图像经过二维离散小波变换后, 产生了三级小波分解信号, 如图 2 所示:

收稿日期: 2004-03-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60272028); 福建省自然科学基金项目 (D0110004)

作者简介: 许茹 (1946-), 女, 江苏人, 厦门大学电子工程系教授, 主要研究领域: 水声通信、智能电子系统。

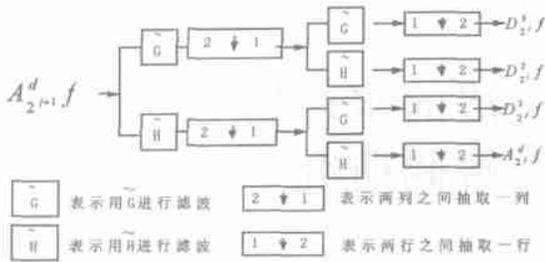


图 1 二维小波分解流程图

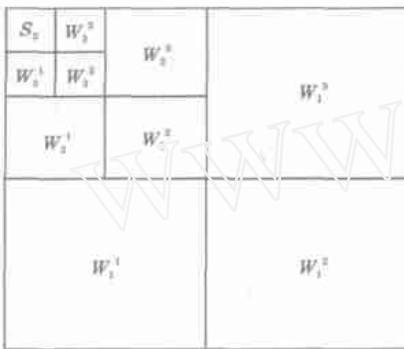


图 2 三级小波分解示意图

由于图像信号的高度相关性, 信号的能量主要集中在低频部分即较低的精度级 (对应图 2 中的 S_3)。因此较低精度级上的小波系数表现出较大的幅值, 且基本上反映了信号的基本特征; 对细节复杂的图像来说, 其高频成分较多, 故小波变换后, 在高精度级即高频区域 W_1 也存在较大幅值的小波系数, 图像编码时, 所有幅值较高的小波系数都应保存, 以确保图像质量^[3]。

零树编码是一种有损压缩编码方法^[4], 其中心思想是重要性排序 (确定扫描顺序) 和分级量化, 使用阈值, 对需编码输出的经小波变换后的高、低精度各级系数进行控制: 阈值越高, 压缩比越大。

首先, 选择一个初始阈值 T_0 , 保证 $2T_0 > C_{max}$ (C_{max} 是所要处理的数据中最大的小波系数) 且 $T_0 = 2^n$, 从初始位置开始扫描编码, 然后再以 $T_1 = T_0/2$ 为阈值对前次扫描后的系数误差, 重复上述过程, 依次类推。通过 T_0 的控制来对所有系数进行判断后输出类型码和幅值码, 这些编码被保存下来或者被用于传输。编码后的图像小波系数类型码为: 次要系数根、孤立次要系数根、正系数及负系数。

零数法编码时, 可以根据实际情况随时截断码

流, 并可以靠接收到的码流重建数据^[4]。这就使得, 在水声信道中, 可以方便地根据当前信道质量状况, 随时改变截断码流的位置、调节压缩比来获得基本相同效果的图像。

2.2 零树解码, 小波反变换

在解码恢复图像的过程中, 零数法对系数的恢复也是按与编码同样的顺序和规则“一级一级”进行的, 首先恢复出编码压缩过程中最低精度级数的最重要的系数, 再恢复出阈值减半后控制输出的系数, 依次重复。也可以随时根据图像的质量停止译码, 对后面码字不再进行处理^[4]。例如: 译码恢复时, 当发现阈值为 $T_k = T_0/2^k$ 时, 图像效果已经达到要求, 则可不再处理其后的码字, 仅仅保留 T_k 之前的码字的译码结果作为重建图像的数据依据。

当小波函数满足条件信号 $\sum |\hat{\Psi}(2^i \omega)| = 1$ 时, 可从分解信号完全重建原始信号, 此时, 可以通过叠加, 恢复原信号, 二维小波合成公式如下:

$$A_{2^{j+1}}^d f(m, n) = 4 \times \left[\sum_k \sum_l A_{2^j}^d f(k, l) \cdot h(m - 2k)h(n - 2l) + \sum_k \sum_l D_{2^j}^1 f(k, l) \cdot h(m - 2k)g(n - 2l) + \sum_k \sum_l D_{2^j}^2 f(k, l)g(m - 2k)h(n - 2l) + \sum_k \sum_l D_{2^j}^3 f(k, l)g(m - 2k)g(n - 2l) \right]$$

其中的符号含义同分解公式。可得二维小波重构流程图^[2] (见图 3)。



图 3 二维小波重构算法流程图

因此, 按照既定规律将每一数据的幅值系数码和重要系数码加以对应, 即不难恢复出原始图像。

本研究根据水声信道的实际情况, 充分考虑重建图像质量和实时性的必要兼顾, 对上述零树法做

了如下改变:

(1) 将原先零树法(有损编码)改变为可选择无损-有损编码的方法。实际改变后的方法,即使在无损情况下,仍然有一定的压缩比。

(2) 对于 Y, Cr, Cb 不同分量的图像数据取不同误差来调节压缩比大小,以控制待传输的数据量。

3 实现

系统分为硬件和软件两个部分,结构框图如图4所示,以 64 × 64 点阵的静态彩色图像为样本。

作者采用了彩色 CCD 摄像头和 W NNOV 公司的 Videum VO PCI 视频采集卡,完成静态图像的采集,以真彩色 BMP 文件格式保存,由 DSP EVM 板完成小波变换,零树法压缩编码和解码、小波反变换,最后重建为 BMP 图像。

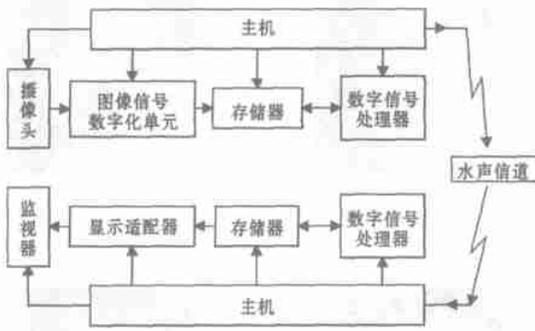


图4 彩色图像压缩、编解码系统图

3.1 硬件系统

由 DSP 器件为核心芯片构成: TI 公司的 DSP 数字信号处理器 TM S320C6201^[5], 运算速度可达 1 600M IPS(即每秒可执行 1.6 × 10⁹ 条指令), 有片内存储器资源, 且有丰富的接口、中断、控制信号等资源, 方便访问外部存储器以及其他外围器件, 可以胜任多种信号处理应用。

作者使用闻亭公司的 DSPEVM 板: WT6201 完成工作, 功能框图如图5所示^[6]。WT6201 板提供了 Window s9X/NT 下的驱动软件以及 DSP 应用软件(APIs), 且有丰富的大量存储空间的硬件资源。

3.2 软件系统

软件系统分为发送端和接收端两个部分。图6给出这两个部分的流程。

本研究在 TC 环境下使用 C 语言完成软件设

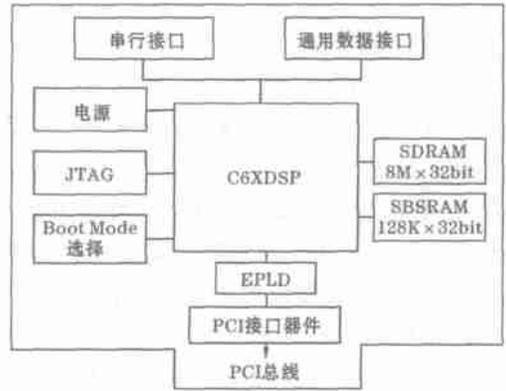


图5 硬件功能框图

计; 利用 TI 公司提供的 TM S320C6000 CCS 1.20 版本来完成编译、链接^[7], 成为可以在 DSP EVM 板上运行的程序。



图6 (a)发送端流程图 (b)接收端流程图

3.3 实施

首先, 改变数据存放形式, 将 Window s BMP 图像文件从原来的 RGB 分量数据按照像素点为单位成组存放, 改变为按照像素点位置顺序, 分别存放它们的 R, G, B 3 个分量数据。整个运算过程, 包括编解码结果都是按照 3 个分量分别独立进行。码流的恢复结束后, 得到的数据仍然是 3 个分量互相独立的。

完成小波反变换, 此时为了重建为 BMP 图像, 需要将数据重新组成 (R, G, B) 形式。

其次, 进行图像数据 RGB- YCrCb 的转化, 充分利用人眼的视觉效果^[8], 使零树法编码时, 能够设置不同阈值下限, 产生 Y, Cr, Cb 各分量不同的误差, 以决定数据的较多或较少压缩。在此基础上: 采用滤波器长度为 13 的“对称紧支集近似小波滤波器”(线性相位) 完成图像的小波分解和合成。确定正确的扫描顺序以及处理子节点方法完成“改变了”的零树法编码, 产生小波系数类型码。按照与编码同样的顺序和处理子节点法, 根据类型码, 叠加或者减去当前阈值, 逐步逼近原始数据, 完成解码。

4 结果与讨论

4.1 压缩比

图像数据 Y, Cr, Cb 各分量取不同误差值时压缩后图像数据量及压缩比示于表 1:

表 1 图像不同情况下的压缩比

图像描述	尺寸	所占空间 (byte)	压缩比
原始图像	64 × 64	12 288	-
JPEG 压缩	-	1 467	8.38
YCrCb 分量无误差压缩	—	4 685	2.62
YCrCb 分量误差均为 2	-	2 835	4.33
Y 分量误差为 2 CrCb 分量误差为 16	-	1 663	7.39
Y 分量误差为 4 CrCb 分量误差为 4	-	1 520	8.08
Y 分量误差为 4 CrCb 分量误差为 16	-	1 008	12.19

4.2 效果比对

给出表中不同情况下的实验图像效果比对, 如图 7.1~ 图 7.7。

其中, 图 7.1 是原始图像, 图 7.2 是使用 ACD-see 做 JPEG 重建图像, 图 7.3 是使用本文方法, 分别在 Y, Cr, Cb 各分量无误差情况下得到的重建图像。

图 7.4~ 图 7.6 为 Y, Cr, Cb 分量在各取不同误差情况下的重建图像效果。图 7.7 为本方法在 Y, Cr, Cb 分量误差均为 4 的情况下得到的重建图像, 它与 JPEG 压缩重建图像有相近压缩比。

图 7.2 明显存在方块效应和轮廓模糊, 图 7.7 则没有, 但有一些像素点存在色彩偏差, 然而, 从人的视觉观感角度来说, 总体效果上, 图 7.7 优于图 7.2。



图 7.1: 原始图像 图 7.2: JPEG 重建图像



图 7.3: 本方法重建图像 图 7.4: Y 分量误差为 2, Cr, Cb 误差为 2 时重建图像



图 7.5: Y 分量误差为 2, Cr, Cb 误差为 16 时重建图像



图 7.6: Y 分量误差为 4, Cr, Cb 误差为 16 时重建图像



图 7.7: YCrCb 分量误差均为 4 的重建图像

参考文献:

- [1] 崔锦泰 著, 程正兴 译. 小波分析导论[M]. 北京: 电子工业出版社, 1995, 86- 99.
- [2] 耿则勋. 小波理论及在遥感影像压缩中的应用[M]. 北京: 测绘出版社, 2002, 20- 23.
- [3] 胡昌华, 张军波, 夏军, 张伟. 基于MATLAB的系统分析与设计——小波分析[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999, 98- 108.
- [4] 王汇源编著. 数字图象通信原理与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000, 108- 125.
- [5] 《TM S320C6000 Peripherals Reference Guide》——TI, 1999.
- [6] 《WT6201/6701板用户使用说明书》. 北京闻亭科技发展有限责任公司, 2000.
- [7] 任丽香, 马淑芬, 李方慧. TM S320C6000系列DSPs的原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000, 511- 538.
- [8] 郑世林. 数码压缩技术及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000, 19- 27.

Research on Compressed Coding/Decoding of Color Image in the Underwater Acoustic Channels Based on Wavelet Transform and Zero-Tree Approach

XU Ru, Li Jia, Liu Hui, Weng Weicheng

(Department of Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen, Fujian, 361005)

Abstract: Integrating the characteristics of underwater acoustic channel, an image process system with DSP is presented in this paper, based on the fundamental principle of wavelet transforms and “changed” zero-tree encoding and decoding. Under different compression ratios, it implements the compression and decompression of a static color image of $64 * 64$ dot matrix. When the compression ratio is the same as that of conventional JPEG algorithm, the whole vision effect of the decompressed image improves obviously. Thus, this is an active try in color image transmission under the underwater acoustic channel.

Key words: underwater acoustic channel; wavelet transform; zero-tree decoding & encoding; stopping the bit stream at any point; color image compression