

小波变换在数字机顶盒的应用研究

侯冬晴, 樊晓兵

(吉首大学 物理科学与信息工程学院, 湖南 吉首 416000)

摘要: 以小波变换在工程中的应用特点和数字电视知识为铺垫, 叙述了数字机顶盒的原理及其解码过程。介绍了离散余弦变换在图像压缩中的正变换及其逆变换, 其基本原理是将信号从时域变换到频率域, 然后进行量化、存储和传输。讨论了二维离散小波变换在图像压缩中的正变换和其逆变换。

关键词: 小波变换; 数字电视; 机顶盒; MPEG

中图分类号: TP302.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)02-0081-03

Application Research of Wavelet Transform in the Digital STB

Hou Dongqing, Fan Xiaobing

(School of Physics Science and Information Engineering, Jishou University, jishou Hunan 41600, China)

Abstract In view of the applying characteristics of wavelet and digital TV of wavelet transform, the principle and the decoding process of digital set top box is described. Then it introduces the forward transform and the backward transform of DCT in picture compress whose principle is transforming the signal form the time-field to frequency-field, then storaging and transforming. The emphasis is to discuss the two dimensional discrete wavelet forward transform and backward transform in picture compress.

Key words: wavelet transform; digital TV; set-top box; Moving Pictures Experts Group

0 引言

小波变换理论是20世纪80年代后期兴起的数学分支, 素有“数学显微镜”的美称。它是继1822年傅立叶提出傅立叶变换之后又一里程碑式的研究成果, 解决了很多傅立叶变换不能解决的难题。^[1]传统的信号分析是建立在傅里叶变换的基础上的, 由于傅里叶分析使用的是一种全局的变换, 要么完全在时域, 要么完全在频域, 因此无法表述信号的时频局域性质, 而这种性质恰恰是非平稳信号最根本和最关键的性质。为了分析和处理非平稳信号, 人们提出了小波变换。

小波变换是一种信号的时间-尺度分析方法, 具多分辨率分析的特点, 且在时频两域都有表征信号局部特征的能力, 是一种窗口大小固定不变但其形状可改变, 时间窗和频率窗都可改变的时频局部化分析方

法。即在低频部分具有较高的频率分辨率, 在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率, 适合于探测正常信号中夹带的瞬态反常现象并展示其成分。

数字电视中的一个重要环节就是图像的压缩, 而小波变换的这些性质特别适合图像的压缩, 采用小波变换能够获得较高的压缩率和较小的图像失真, 这将用到二维离散小波变换的相关理论。

1 数字机顶盒的解码过程

1.1 数字电视基础

数字电视是从电视节目录制、播出到发射、接收全部采用数字编码与数字传输技术的新一代电视系统。具体来说, 就是将传统的模拟电视信号经过抽样、量化和编码转换成用二进制数代表的数字式信号, 然

收稿日期: 2007-11-09

基金项目: 湖南省教育厅自然科学基金资助项目(05C141)

作者简介: 侯冬晴(1974-), 男(土家族), 湖南张家界人, 吉首大学讲师, 硕士, 主要从事ARM技术和嵌入式系统方面的研究。

后进行各种功能的处理、传输、存储和记录，也可以用计算机进行处理、监测和控制。

根据分类标准的不同，数字电视有多种类别：按信号传输方式分类，可分为地面无线传输、卫星传输、有线传输 3 种；按清晰度分类，可分为低清晰度数字电视（图像水平清晰度大于 250 线）、标准清晰度数字电视（图像水平清晰度大于 500 线）、高清晰度数字电视（图像水平清晰度大于 800 线，即 HDTV）。

数字电视技术与原有的模拟电视技术相比，主要优点为：多次处理和转发不影响信号质量，用户收看到的图像及声音质量非常接近演播室质量；设备输出信号稳定可靠；易于实现信号的存储；与计算机配合可实现设备的自动控制和调整；可在相同线路中传送更多的节目内容；可进行音视频点播等双向互动功能；可与计算机“融合”而构成一类多媒体计算机系统。

目前，普通用户的电视机只要加装一台数字电视机顶盒，就可以接收数字电视节目。而且目前市场上销售的“数字电视机”，也只是在实现环节采用数字化，要想收看数字节目，也必须借助机顶盒^[2]。

1.2 机顶盒的工作原理

有线电视数字机顶盒的基本功能是接收数字电视节目，其基本工作流程如图 1 所示。

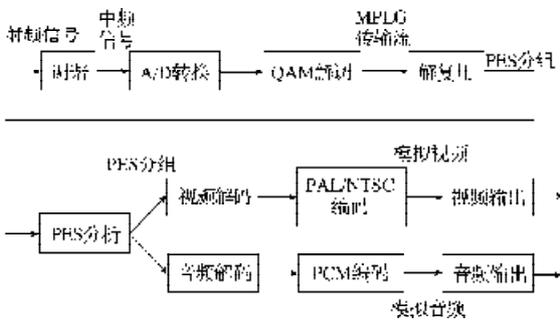


图 1 机顶盒工作流程

Fig. 1 Working process of set-top box

在机顶盒解码工作流程中，调谐模块接收射频信号并下变频为中频信号，然后进行 A/D 转换为数字信号，再送入 QAM 解调模块进行解调，输出 MPEG 传输流的串行或并行数据。解复用模块接收 MPEG 传输流，从中抽出一个节目的 PES 数据，包括视频 PES、音频 PES 以及数据 PES。解复用模块中包含一个解扰引擎，可在传输流层和 PES 层对加扰的数据进行解扰，其输出是已解扰的 PES。视频 PES 送入视频解码模块，取出 MPEG 视频数据，并对 MPEG 视频数据进行解码，然后输出到 PAL/NTSC 编码器，编码成模拟电视信号，再经视频输出电路输出。音频 PES 送入音频解码模块，取出 MPEG 音频数据，并对 MPEG 音频数据进行解码，输出 PCM 音频数据到 PCM 解码器，PCM 解码器输出立体声模拟音频信号，经音频输出电路输出。

2 小波变换在机顶盒中的应用

2.1 数字电视中图像的压缩

原始的电视图像若不经压缩，很难将多个频道在现行的电视系统中存储和传输。目前数字电视采用的是 MPEG-II 压缩技术，视频信号可以压缩的根据来源于两个方面：一是视频信号中存在大量的冗余度可供压缩，且这种冗余度在解码后还可无失真地恢复；另一方面，可利用人的视觉特性，在不被主观视觉察觉的容限内，通过减少表示信号的精度，以一定的客观失真换取数据压缩^[3]。

在 MPEG-II 压缩标准中，主要采用了离散余弦变换、可变长编码和运动补偿，它们被用来消除空间冗余、时间冗余和统计冗余。在众多的变换编码中离散余弦变换是最常用的。DCT 变换是一个无信号损失的双向数学过程。它将空间分布的变化程度转变成重现空间分布所需的频率带宽。变换所得到的系数值既可以代表不断增加的更高的垂直和水平空间频率，也可以代表不同的水平和垂直空间频率组合。视频信号经过 DCT 变换后，较高的空间频率系数会变得非常细小，而根据人眼的视觉特性，较高的空间频率系数可以少量的比特来表示，或者完全去掉而不影响图像质量。在实际应用时为保持信号的可逆性和无损性，常常采用更多的比特来表示 DCT 系数。去除视频信号时间冗余，可使用有运动补偿的帧间预测来完成。

2.2 离散余弦变换数学原理

离散余弦变换 DCT (Discrete Cosine Transform) 是一种傅立叶变换，因任何连续的实对称函数采用傅立叶变换后就只含余弦项而得名。在进行 DCT 变换时，先将整幅图像横向切成若干片，每片图像再纵向切成若干个宏块，通常宏块的大小为 8*8 点阵。由于视频图像为二维的，故采用二维 DCT 变换，其变换算式为：

$$F(u, v) = \frac{1}{4} C(u)C(v) \cdot \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \quad (1)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C(u)C(v) F(u, v) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \quad (2)$$

式 (1)、(2) 中， $x, y, u, v = 0, 1, \dots, 7$ 。 $f(x, y)$ 是像素的位置函数， $F(u, v)$ 是对应于 $f(x, y)$ 的每个像素经 DCT 变换后构成的系数函数。式 (1) 是 DCT 正变换，将像素变换成系数，式 (2) 是 DCT 逆变换，将系数还原成像素。 $C(u)$ 和 $C(v)$ 是两个常数，当 $u=v=0$ 时， $C(u)=C(v)=1/\sqrt{2}$ ；当 u 和 v 不等于 0 时， $C(u)=C(v)=1$ 。

当 $u=v=0$ 时，式 (1) 可化成如下形式：

$$F(u, v) = \frac{1}{8} \sum_{x=c}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y), \quad (3)$$

这是 64 个像素 (样值) 的平均值, 相当于直流分量。

3 小波变换在图像压缩中的应用

3.1 小波变换的基础知识

小波变换这一重要的数学工具, 发扬了傅立叶变换的优点, 解决了许多傅立叶变换所不能解决的问题, 因此, 小波变换及多分辨率分析在工程方面得到了越来越广泛的应用。凡满足如下条件:

$$C_{\Psi} = \int_0^{+\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega < +\infty \quad (4)$$

的函数 $\Psi(t)$ 称为一个母小波函数, 小波函数具有一定的振荡性, 即它包含着某种频率特性。对满足式 (4) 的某函数作伸缩, 平移得到

$$\Psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (5)$$

式 (5) 中, $b \in \mathbf{Z}$, $a \in \mathbf{R} - \{0\}$, $\Psi_{a,b}(t)$ 称为小波函数, 简称小波。变量 a 反映函数的尺度, 变量 b 检测沿 t 轴平移的位置^[4]。

3.2 小波变换在图像压缩中的应用

图像的压缩需要用到二维的小波变换^[4], 二维小波变换与突变点:

设 $\theta(x, y)$ 是一适当的光滑二元函数, 并满足条件:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \theta(x, y) dx dy = 1, \quad \lim_{x \rightarrow \pm\infty} \theta(x, y) = 0. \quad (6)$$

引进记号 $g_s(x, y) = \frac{1}{s^2} g\left(\frac{x}{s}, \frac{y}{s}\right)$, 用函数 $\theta_s(x, y)$ 对 $f(x, y)$ 进行光滑化得 $f * \theta_s(x, y)$, 取二维的小波基函数 $\psi^1(x, y)$, $\psi^2(x, y)$ 如下:

$$\psi^1(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial x}, \quad \psi^2(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial y} \quad (7)$$

作相应的小波变换如下:

$$W_s^1 f(x, y) = f * \psi_s^1(x, y), \quad W_s^2 f(x, y) = f * \psi_s^2(x, y) \quad (8)$$

式 (8) 可以变形得到如下关系:

$$\begin{bmatrix} W_s^1 f(x, y) \\ W_s^2 f(x, y) \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} (f * \theta_s)(x, y) \\ \frac{\partial}{\partial y} (f * \theta_s)(x, y) \end{bmatrix} = SK(f * \theta_s)(x, y) \quad (9)$$

经一系列的变换后可得到二维二进小变换的重建 $f(x, y)$ 公式:

$$f(x, y) = \sum_{j \in \mathbf{Z}} \left[W_{2^{-j}}^1 f * \eta_{2^{-j}}^1(x, y) + W_{2^{-j}}^2 f * \eta_{2^{-j}}^2(x, y) \right] \quad (10)$$

二维图像的重建算法中, 令 $f(x, y) \in L^2(-\infty, +\infty)$, $\{W_{2^{-j}}^1 f(x, y), W_{2^{-j}}^2 f(x, y)\}, j \in \mathbf{Z}$ 为其二维小波变换, 得到其重建算法为:

$$h(x, y) = f(x, y) + g(x, y), \quad g(x, y) = 0.$$

以上内容仅从理论上探讨了小波变换在图形压缩中的应用, 许多参数的确定及进一步提高压缩率还需深入研究。

4 结语

电视的数字化是科学技术发展的必然趋势。目前因为数字节目源少, 图像的压缩率低, 网络传输慢等原因, 数字电视并未得到广泛应用。数字电视中的一项关键性技术就提高图像的压缩率。文中将小波变换引入数字电视中的图像压缩, 提出一种小波变换在图像处理中的变换算法及其逆变换算法 (限于篇幅原因, 未给出具体的过程)。为找到图像的压缩率和失真度之间的平衡, 其参数还需要进一步优化。

参考文献:

- [1] 蔡汉添. 小波变换域中图像噪声平滑技术[J]. 光学技术, 1998(11): 6-9.
- [2] 杨先麟, 朱艳芹. 小波分析在图像处理中的应用[J]. 理论与方法, 2007(6): 19-22.
- [3] 李少芳, 郑继绍. 基于小波变换的一种实时图像压缩算法[J]. 武汉科技学院学报, 2007(3): 19-22.
- [4] 侯冬晴, 张榜英. 基于 ARM9 和 AL128 的网络机顶盒设计[J]. 微计算机信息, 2007(5): 158-160.
- [5] 刘新文, 王惠南, 钱志余. 小波变换对 OCT 图像的降噪处理[J]. 光子学报, 2006(6): 935-938.
- [6] 刘维国, 杨兆进, 郭惠娟, 等. 小波变换及其在地震资料处理中的应用[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1995(2): 1-4.

(责任编辑: 廖友媛)