

# 基于 JPEG2000 的静态医学图像压缩设计方案

卫俊霞, 焦国华, 高晓惠

(中科院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

**摘要:** 针对静态医学图像压缩, 介绍了两种压缩标准 JPEG 与 JPEG2000, 通过对它们的比较, 突出 JPEG2000 的优势, 诠释了 JPEG2000 的基本结构与编码、解码技术, 描述了基于 DSP 的图像压缩设计方案。系统采用 CCD 采集数字图像, 用 16 位定点 DSP 进行小波压缩, 主要为了减小传输费用, 试验结果表明 JPEG2000 对图像重现与压缩比率效果较优。

**关键词:** 静态医学图; JPEG; JPEG2000; DSP; CCD; 小波压缩

## Design of Still Medical Image Compression Based on JPEG2000

WEI Junxia, JIAO Guohua, GAO Xiaohui

(Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068)

**【Abstract】** This paper describes still medical image compression, introduces two image compression standards, JPEG and JPEG2000. By comparing the two standards, JPEG2000 is superior to JPEG. The modern technology, namely JPEG2000 is presented. The JPEG2000 basic configuration and the encoding and decoding technique are given. A design of image compression based on DSP is described. The system uses CCD for getting digital image, and adopts a sixteen-bit fix-point DSP to perform wavelet transform arithmetic and image encoding. The proposed technique aims at reducing the transmission cost while preserving the diagnostic integrity. The experimental results indicate that using JPEG2000 standard can ensure an optimal trade-off between the image reconstruction quality and the compression ratio.

**【Key words】** Static medicine image; JPEG; JPEG2000; DSP; CCD; Wavelet compression

随着远程医疗和医院数字信息化的发展, 医学图像存档与传输系统(PACS)越来越受到重视, 并得到广泛应用。同时, 人们对医学图像的保真度和图像传输时间提出了更高的要求。因此, 减小医学图像占用存储空间、降低网络传输负担、提高压缩图像的质量、寻找有效的医学图像压缩编码算法成为亟待解决的问题。

早期人们多采用基于离散余弦变换的 JPEG 压缩标准压缩医学图像, 该标准具有压缩比可变、实现算法简单、图像质量相对较好等优点。但基于 JPEG 压缩标准的编码算法在提高图像压缩比时无法保证图像质量。对于细节复杂的医学图像, 往往会产生较大失真, 直接影响诊断的准确性。

1996 年在瑞士日内瓦会议上诞生了具有更高压缩率以及更新功能的新一代静态图像压缩技术 JPEG2000 标准, 该压缩编码系统在保证失真率低和主观图像质量优于现有标准的条件下, 能够提供对图像的低码率压缩, 并且在速率畸变的情况下, 主观图像质量性能优于现行的 JPEG 标准。

### 1 JPEG2000 技术

JPEG2000 的基本结构如图 1 所示。JPEG 2000 与传统 JPEG 最大的不同, 在于它放弃了 JPEG 所采用的以离散余弦变换(Discrete Cosine Transform)为主的块编码方式, 而改用以小波变换(Wavelet Transform)为主的多解析编码方式。小波变换的主要目的是将图像的频率成分抽取出来。

JPEG2000 首先将原始图像分解和编码。处理过程如下:

(1) 图像分解成成分(components)。

(2) 图像和图像成分分解成矩形片(tiles)。片成分(tile-component)是原始或重建图像的基本单位。

(3) 在一个片成分上进行小波变换, 形成分解级别

(decomposition levels)。这些分解级别可以产生不同分辨率的成分。

(4) 这些分解级别由系数的子频带(sub-bands)组成, 而这些系数描述了片成分上局部区域(而不是跨越整个片成分)的频率特性。

(5) 系数子频带被量化, 并汇集到码块矩形数组。

(6) 一个码块中的系数位面或比特面(bit-planes)被 3 次编码扫描(three coding passes)完成熵编码。

(7) 一些系数可以首先编码, 以便提供一个感兴趣的区域。

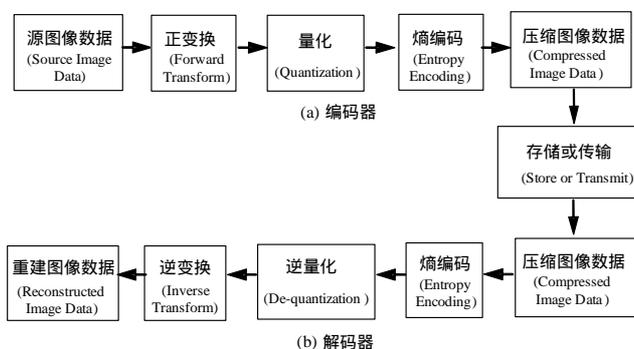


图 1 JPEG2000 的基本结构

经过这些步骤, 数据被完全分解和编码。

接着, 将这些位流单位重组为码流(code stream)。过程如

**作者简介:** 卫俊霞(1974 -), 女, 工程师, 主研方向: 图像的解压与通信; 焦国华, 工程师、博士生; 高晓惠, 工程师

**收稿日期:** 2006-04-28 **E-mail:** wjx\_ywj@163.com

下所示：

(1)码块的编码扫描被汇集成层(layers)。

(2)数据包(packets)由片成分解级别的单个层的一个分割部分组成。数据包是压缩数据的基本单位。

(3)在几种次序方式中选一种方式将一个片上所有的数据包交叉起来，并将它们放置在一个或多个片零件(tile-parts)中。

(4)片零件有一个描述片零件的头部，并可以任意次序交叉。

(5)码流在开始描述原始图像和各种分解与编码式样处有一个主头部，按照要求的分辨率、保真度、感兴趣的区域以及其它特点进行定位、抽取、解码和重建该图像时可以使用。

(6)可选的文件格式描述了图像及其成分在应用的上下文环境中的含义。

JPEG 2000 标准是以图像块作为单元进行处理的。这就意味着图像数据在进入编码器之前要对它进行分块。如图 2 所示，左图表示对图像进行分块，右图表示对每一个图像块进行处理，中间的方框表示在对每个图像块进行正向变换之前，图像块分量的所有样本都减去一个相同的量，这叫作直流电平(DC)平移(shifting)。图像分块处理时，对图像块的大小没有限制，图像的变换、量化和熵编码等所有的处理都是以图像块为单元。这样做有两个明显的好处：一是可以降低对存储器的要求，二是便于抽出一幅图像中的部分图像。其缺点是图像质量有所下降，但不明显。

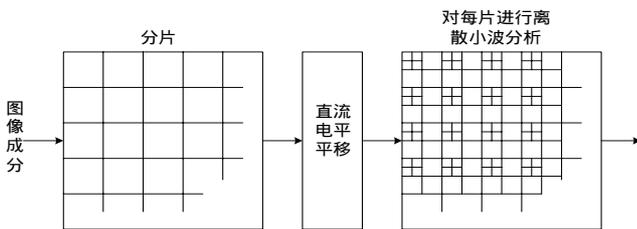


图 2 图像分块、直流电平变换和图像块变换

## 2 JPEG2000 的 DSP 实现

### 2.1 医学图像压缩编码的硬件实现

医学图像包括急救现场患者的图像信息和病人的影像资源。为了能同时对这两类医学图像信息进行压缩处理和传输，以 DSP 为核心设计和实现的硬件系统结构如图 3 所示。

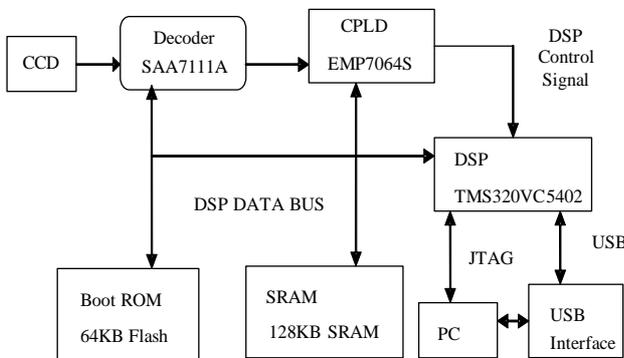


图 3 图像压缩编码系统框图

视频解码芯片 SAA7111A 完成模拟视频图像的数字化的；CPLD 器件 EPM7064S 实现图像采集与捕捉的时序和控制逻辑功能；DSP 遵从 JPEG2000 标准对变换系数进行压缩编码。

因此 DSP 器件是算法实现的核心部件。为提高运算速度，选用 TI 公司高性能数字信号处理器 TMS320VC5402，通过 TMS320VC5402 的外部存储器接口 EMIF 扩展了 16MB 的 SDRAM；图像压缩编码系统与 PC 机之间的双向通信由 USB 接口实现；通过 JTAG 接口还可方便地对 TMS320VC5402 进行调试以及系统软件升级。

### 2.2 视频解码器 SAA7111A

SAA7111A 具有 4 路视频输入，抗混滤波、梳状滤波都集成到芯片内部，为设计带来了极大的方便。场同步信号 VREF、行同步信号 HREF、奇偶场信号 RES1、像素时钟信号 LLC/LLC2 都由管脚直接引出，省去了以往的时钟同步电路的设计，可靠性也得到提高。系统内部的集成锁相环技术使得可靠性和设计复杂度都有极大的降低。通过 SAA7111A 内部控制字可以直接控制行同步有效时间，省略行延迟电路。

SAA7111A 的输出格式定为 CCIR656 标准，系统对图像的分辨率要求为 QVGA(320\*240 像素)，因此用 VREF、HREF、LLC3 个信号组合来产生图像存储器的读写控制信号。为了节约 CPLD 的资源，SAA7111A 的数字视频输出总线直接连接到 DSP 的数据总线上，采用 DMA 的方式对图像存储器进行操作。

### 2.3 信号处理芯片 TMS320VC5402

系统的核心是 TMS320VC5402。VC5402 是一种具有高处理能力和低功耗特性的 16 位定点 DSP 芯片，其主要特点有：

- (1)处理能力高达 100MIPS，而且片内集成了 16KB 的双存取 RAM，程序地址空间最多可扩展到 1MB；
- (2)片上外设接口包括 2 个多通道带缓冲的串口 (McBSP)，1 个 HPI 口，2 个定时器和 1 个可编程时钟发生器；
- (3)核心电压为 1.8V，I/O 电压为 3.3V，而且提供多种降低功耗的措施，包括系统空闲时可以暂时停止时钟发生器的工作，大大减少了系统的耗电量，尤其适合于便携式或使用电池供电的设备。

在 VC5402 片内，CPU 与 McBSP 之间的数据传送有 3 种方式：查询方式，中断方式和 DMA 方式。每当串口接收到一个字(新接收的数据复制到 DRR12 寄存器中)或发送的字从 DXR 寄存器拷贝到 XSR 寄存器中时，都会改变串口控制寄存器 1(SPCR1)中的 RDDY 和串口控制寄存器 2(SPCR2)中的 XRDY 标志位，所以 CPU 可以通过不断查询的方法知道数据是否发送完毕以及是否接收到新的数据，从而决定下一步操作。CPU 还可以通过串口的接收或发送中断事件，在中断服务程序中完成数据的传送，中断的触发事件是可以选择的，在进行处理之前必须预先设置好串口控制寄存器 1(SPCR1)和串口控制寄存器 2(SPCR2)中相应的位。第 3 种传送数据的方式就是通过芯片的 DMA 与串口相连，由串口同步事件触发 DMA 完成数据的传送。

VC5402 通过 McBSP 接收数据，必须对 VC5402 的 McBSP 相关寄存器进行正确的设置，以满足 VC5402 对 SAA7111A 的各种时序要求(帧同步和位时钟信号等)，程序初始化时设置 McBSP0 的工作状态：设置时钟为自由运行状态：发送移位时钟信号和帧同步信号由 CLKX 和 FSX 提供，由 CLKR 和 FSR 接收：每字 16 位，无延时接收。

在不用单一数据处理情况下，可以对 McBSP 使用 DMA 通道控制(称为 ABU 模式)，可避免串口频繁中断，使其在接

收一串指定的数据后，才触发一次中断，因而更适用于高速工作的情况，这里应配置与 DMA 通道操作有关的寄存器来设置 DMA 控制的源地址、目的地址、缓冲区大小、触发式事件、接收方式、通道选择等。采用 ABU 模式，可以减少 DSP 工作量，简化软件设计，有效利用 DSP 的硬件资源。

#### 2.4 医学图像压缩编码的软件实现

软件程序的流程可以用图 4 来说明。系统上电之后，首先进行程序自举，将存储于片外 FLASH 的程序和表格下载到片内 RAM 中，并自动完成对系统的初始化，然后进入正常工作状态。

算法主要采用零树小波编码(Embedded Zerotree Wavelet Coding, EZW)。首先，在设计编码器的过程中，其输入的处理是纯二进制的比特流，所以设计一个通用的二进制 I/O 处理接口。为了尽可能压缩图像，避免不必要的存储空间浪费，定义了特殊的数据流格式。其次，EZW 的输出流将从编码器的同步信息开始。解码器所需的最少信息是小波变换的层数和初始阈值，初始阈值的选定为

$$T_0 = 2^{\lceil \log_2(\max(W_r(x,y))) \rceil}$$

这里  $\max(\cdot)$  表示选取图像小波系数的最大幅值， $W_r(x,y)$  是图像小波变换后的小波系数。然后，分别建立主编码、从属编码扫描的小波系数表，在主扫描未完成的时候，从属过程的系数表为空。

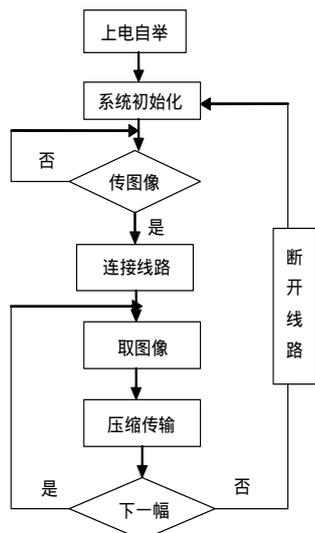


图 4 程序流程

在主编码扫描过程中，图像以特定的方式扫描，对于每一个小波系数以小波符号输出。如果系数大于当前的小波阈值，那么以正大系数 POS 来编码它；如果系数是负值系数，且其绝对值大于当前阈值，那么以负大系数 NEG 来编码它；如果系数是一棵零树的根，那么以零树根 ZTR 编码它；如果系数小于当前的小波阈值，且它又不是一棵零树的根，那么以孤独零 IZ 来编码它。孤独零仅出现在子树中存在大于小波阈值的系数的情况下。利用 NEG 和 POS 编码系数的绝对值大于当前阈值的情况，然后输出该系数的最高两位。编码的最终结果：绝对值大于小波阈值的系数被分离出来，并置放在从属编码扫描的系数列表中，列表中的系数是不带符号的。

并且，这些大系数的位置将填补 0，这样避免了大系数的重复编码。

在实现编码扫描中，需要自行定义先入先出的数据结构来完成零树编码。主编码扫描过程完成了大部分的零树编码定义，并且为从属编码扫描提供了编码的小波系数图以及零树图作为参考。主编码扫描过程是嵌入到编码循环中的，随着编码循环运行，编码阈值不断减小。

从属编码扫描是一个细化的过程，它用来提升一些不确定的阈值区间，并且还将输出系数表中所有系数的最高两位。从属过程的主循环条件是：小波阈值达到了最小值。对于整型小波系数，最小值等于 0，并且新的阈值为原先阈值的 1/2，可以用移位操作来完成。

从数据压缩的角度考虑，这种经过组织后的数据流仍然存在着冗余信息，可以通过算术编码器来完成最终的编码，将数据流压缩为带宽极小的压缩数据流。所以，采用 EZW 算法与算术编码器混合使用，一旦 EZW 编码器输出数据流，则马上利用算术编码器进行压缩形成最终的输出数据流。

解码同样采取主扫描和从属扫描过程。主扫描获取主编码扫描过程中产生的压缩数据，从属扫描过程将取出每一个小波系数的一个比特位，该比特位将乘以当前的解码阈值，若是正大系数的比特位，则利用加法细化该系数，若是负大系数的比特位，则利用减法细化该系数。

### 3 结果分析

表 1 显示了不同压缩比率下图片的信噪比，可见，在各种压缩比率下，JPEG2000 都保持了较好的信噪比，特别是在高压比率情况下，更加体现出了 JPEG2000 的优点。如在压缩比为 53:1 时，JPEG2000 的整个图片主观比较圆润、平滑、轮廓清晰、颜色没有突变；而 JPEG 表现出明显的“方块”效应，图片的颜色紊乱、轮廓模糊。

表 1 不同压缩比下的峰值信噪比

压缩比	8:1	11:1	16:1	32:1	53:1
峰值信噪比	42.8	40.7	39	36.1	33.8

利用该标准建立的图像将极大地节约存储空间，有效地缩短图像在网络上传输的时间。随着 DICOM3.0 对 JPEG2000 的全面支持，JPEG2000 以其优异的图像压缩性能必将在医学图像处理领域和远程医疗系统中发挥越来越重要的作用。

### 参考文献

- 张益贞, 刘滔. VC++实现 MPEG/JPEG 编解码技术[M]. 北京: 人民邮电出版, 2003.
- 何学辉, 苏涛. TMS320VC5402 DSP 与串行 AD73360A/D 转换器接口设计[Z]. 2004-11. <http://www.dianzi.net>.
- 宋万杰, 罗丰, 吴顺君. CPLD 在时空二维雷达信号处理中的应用[C]//全国雷达年会, 1999.
- 靳济芳. VC++小波变换技术与工程实践[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.
- 鲁常红. 远程控制中视频信号压缩问题的解决方案[J]. 现代电子技术, 2003, (22).