

# 嵌入式 JPEG 2000 视频图像压缩系统研究

刘国锦<sup>1</sup>, 时 斌<sup>1</sup>, 王济生<sup>2</sup>, 朱晓舒<sup>1</sup>

(1 南京师范大学 分析测试中心, 江苏 南京 210097;  
2 琼台师范高等专科学校 信息技术系, 海南 海口 571127)

[摘要] 介绍了主要的视频压缩标准, 比较了 JPEG 2000 视频图像压缩标准相对于其它标准的优缺点, 并对 JPEG 2000 的编码技术做了介绍. 提出了将 JPEG 2000 用于视频压缩处理, 给出了嵌入式系统的软硬件设计. 实验结果表明, 在压缩比为 4:1 时, 压缩后的图像质量令人满意. 通过结合抽帧和插帧, 系统可用于高质量图像监控等场合.

[关键词] 视频压缩, JPEG 2000, ADV212, 嵌入式系统

[中图分类号] TP 752 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2009)04-0063-05

## Research of Embedded JPEG 2000 Video and Image Compression System

Liu Guojin<sup>1</sup>, Shi Bin<sup>1</sup>, Wang Jisheng<sup>2</sup>, Zhu Xiaoshu<sup>1</sup>

(1. Analysis and Testing Center of Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China  
2. Department of Information Technology, Qiongtai Normal College, Haikou 571127, China)

**Abstract** This paper briefly introduces the main video compression standards, then compares the advantages and disadvantages of JPEG 2000 with that of other standards. The coding techniques used in JPEG 2000 are also presented. The paper proposes that JPEG 2000 applied in video compression, and gives a hardware and software design of embedded system. Test result shows that the quality of an image recovered from compressed video is satisfactory when compression ratio is 4:1. Combining decimating and inserting frames, this system can be used in high quality image surveillance, and so on.

**Key words** video compression, JPEG 2000, ADV212, embedded system

目前使用较广的视频图像压缩标准主要有 MPEG-2、MPEG-4、H. 263、H. 264, 采用帧间压缩, 主要基于运动估计补偿和 DCT, 可以提供很高的压缩比. 与上述几种压缩方式不同, M-JPEG 基于帧内压缩, 它将视频序列中的每一帧图像, 独立进行 JPEG 压缩, 而没有利用视频中相邻帧之间的相关性, 压缩效率不高. 在相同视频质量下, H. 264 的压缩比, 大约是 M-JPEG 的 4~5 倍<sup>[1]</sup>. 但它也有很多优点: 压缩算法复杂度低, 编解码延时小, 不存在误码的跨帧传播, 压缩视频可精确进行帧定位、帧提取、帧编辑等基于帧的操作. 在高质量图像、视频编辑、帧图像提取等特殊的应用中, M-JPEG 仍然是理想的视频压缩方案.

JPEG 2000<sup>[2-4]</sup> 是 JPEG 委员会于 2000 年制定的新一代静止和运动图像压缩标准, 它的正式名称为 ISO/IEC-1544 和 ITU-TT. 800. 在静止图像压缩方面, 与 JPEG 相比有了很多改进, 压缩效率提高 30% 左右, 图像的分辨率和质量可分级, 还可指定压缩后的图像数据量, 同时支持有损和无损压缩, 鲁棒性好. 压缩视频时, 它也采用帧内压缩方式, 将每个视频帧独立进行 JPEG 2000 静止图像压缩, 除了上述点以外还具有 M-JPEG 的所有优点, 如算法复杂度低, 编解码延时小, 抗误码性能好, 帧操作等.

本文研究了 JPEG 2000 的编码技术, 并提出了一种基于 JPEG 2000 的图像压缩嵌入式硬件系统的设计方案.

### 1 JPEG 2000 编码技术概述<sup>[3-7]</sup>

JPEG 2000 的编码步骤依次包括: 预处理、分量变换、离散小波变换 (DWT)、EBCOT (优化截断的嵌入

收稿日期: 2009-06-19

基金项目: 教育部重点实验室基金 (NS206005) 资助项目.

通讯联系人: 刘国锦, 高级工程师, 研究方向: 通信技术与图像信号处理等. E-mail: liuguojin@njnu.edu.cn

式块编码)。其中,关键技术是 DWT 和 EBCOT。

预处理,一般包括直流平移和分片两个处理。直流平移,是指去除图像中的直流成分。分片,将图像分割成很多互不重叠的图像分片 ( tile), 然后对每个分片独立进行压缩,这样可实现对大尺寸图像的压缩,并有效降低编码的内存需求。分量变换,将图像从 RGB 变换到 YCbCr 色彩空间,从而去除 3 个分量间的相关性,提高压缩效率。若源图像彩色空间为 YCbCr 则不需要进行分量变换。

JPEG 2000 放弃了 JPEG、MPEG-4、H. 26x 等现有的视频图像压缩标准中使用的基于分块的离散余弦变换 ( DCT), 并率先将 DWT 用于图像处理。因而 JPEG 2000 具有很多独特的优点,例如,比 DCT 更好的压缩性能,可以避免 DCT 处理产生的块效应,图像还具有多分辨率分解特性。JPEG 2000 使用的 DWT 是一个 2 维小波滤波器组,包含 2 个 1 维双通道滤波器,分别对图像进行水平和垂直方向的滤波。每进行一次 2 维 DWT 变换,产生 4 个子带,分别为 LL(水平低通、垂直低通)、HL、LH、HH, 下一次 DWT 分解都是对前一次产生的 LL 子带进行,并产生 4 个新的子带,图 1 是进行 2 次 DWT 分解后的子带示意图。



图 1 DWT 分解示意图  
Fig.1 DWT analysis schematic diagram

图 1 子带包含图像的低频成分,即图像的基本信息,也是重建图像最重要的成分,而其他高频子带,包含图像的细节信息,可以恢复图像的细节特征。DWT 能够有效去除图像数据间的相关性,变换后,LL 子带的范围变化不大,而其它子带的大部分数据都趋近于零。

JPEG 2000 支持两种小波变换,其中 Daubechies 9/7 滤波器组为不可逆浮点数变换,只能用于有损压缩,Le Gall 5/3 滤波器组为可逆整数变换,既可以用于无损压缩,也可用于有损压缩,默认采用不可逆的 9/7 滤波基。两种滤波器组的系数如表 1、表 2 所示。通常,采用提升滤波的方案实现 DWT,而不采用卷积方式,这样可以大大减少计算量,降低内存需求,还能并行执行计算,关于提升滤波这里不再详述。

表 1 Daubechies 9/7 分解滤波器组系数		
Table 1 Daubechies 9/7 analysis filters group coefficients		
<i>k</i>	低通滤波器	高通滤波器
0	0. 602 949 018 2	1. 115 087 05
±1	0. 266 864 118 4	- 0. 591 271 763
±2	- 0. 078 223 266 5	- 0. 057 543 526
±3	- 0. 016 864 118 4	0. 091 271 763
±4	0. 026 748 757 4	—

图像经过 DWT 变换后,采用带“死区”的均匀量化器对变换系数进行量化,由于变换后各个子带系数的动态范围不同,不同的子带使用不同的量化步长。每个子带又划分为大小相同(子带边界上的码块除外)的矩形码块,码块的宽和高是 2 的幂,且两项的乘积不能超过 4 096。典型值为 64 × 64 或 32 × 32。

表 2 Le Gall 5/3 分解滤波器组系数		
Table 2 Le Gall 5/3 analysis filters group coefficients		
<i>k</i>	低通滤波器	高通滤波器
0	6/8	1
±1	2/8	- 1/2
±2	- 1/8	

每个码块独立进行 EBCOT 编码,即位平面编码和码流组织。编码时,码块系数被组织成位平面 ( bit-plane), 相同权重的系数位, 安排在同 一个位平面中, 并依次对各位平面进行扫描和编码。每个位平面扫描后, 依次得到重要性传播通道、幅度细化通道、清除通道, 并为每个通道生成一个符号 ( symbol) 序列, 每个比特只位于其中一个通道中。使用基于上下文的自适应二进制算术编码器, 即 JBIG 中的 MQ 编码器, 对 3 个通道中的符号进行编码, 并输出编码后的通道信息。

码流组织, 又称“打包”, 将位平面编码后的信息组织成很多数据包, 并输出到最终码流中。JPEG 2000 的许多优良特性, 如速率可分级、图像按质量或分辨率渐进重建等, 都是通过打包实现的。包, 对应某一特定分量 ( component)、分辨率 ( resolution)、质量层 ( layer)、区域 ( precinct) 的通道信息。每个编码通道, 按其对应图像解码的贡献, 被分配到 *L* 个质量层, 无损压缩时, 所有通道都被包含, 而有损压缩时, 有些通道被丢弃。区域, 对应于原始图像 (或图像分片) 中的空间范围, 宽和高都是 2 的幂次数, 并随 DWT 变换, 映射到各个子带中。码流中数据包的排列顺序称为渐进顺序, 标准中定义了 5 种: LRCR、RLCR、RPCL、PCRL、CPRL, 其中 *R*、*L*、*C*、*P* 分别代表分辨率、质量层、分量、区域。

2 系统设计

JPEG 2000 在压缩视频时, 基于帧内压缩方式, 压缩效率虽然不如 MPEG-4 等压缩标准, 但是采用这种

压缩方案, 也可带来很多好处. 例如, 不需要进行运动估计和运动补偿, 可以大大提高视频编解码的实时性, 不会造成误码的跨帧传播. 压缩后帧提取和编辑十分方便, 同一压缩视频可解码为多种分辨率, 以适应多种显示设备. 因此, JPEG 2000 在视频压缩领域也具有很大的应用潜力.

2.1 硬件设计

目前大多数的嵌入式视频图像压缩系统, 都采用专用的视频图像处理 DSP 或 IC. 最早推出 JPEG2000 专用 IC 的是美国 ADI 公司, 其第一款芯片为 ADV202 升级版为 ADV212, 最新的芯片是 ADV216. 本文采用 ADV212 芯片, 作为 JPEG 2000 视频图像处理的核心单元, 视频压缩系统的硬件结构如图 2 所示.

系统主控芯片采用三星公司基于 ARM 920T 内核的 16/32 位 RISC 处理器 S3C2410A, 这是一款低成本、低功耗、高性能的芯片, 片上集成了大量的接口控制器. 系统的 NANDFlash, 选用 64MB 的 K9F1208 SDRAM, 采用 2 片 HY57V 561620 扩展为 64MB/32bit AT24C512, 容量为 64 KB, 用于存储 ADV212 执行视频压缩所需的固件.

CS8900A 芯片, 为 16 位以太网控制器, 用于扩展系统网络接口. S3C2410A 通过地址、数据信号线, 以及读写、片选控制信号线, 对其进行控制和数据传输. CS8900A 映射到 S3C2410A 的内部存储空间 BANK 3. 系统还包含键盘输入和 LCD 输出, JTAG 调试口, 以及串行通信接口.

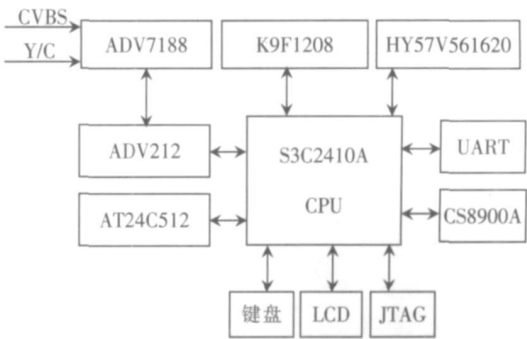


图 2 视频压缩系统硬件结构

Fig.2 Video compression system hardware structure

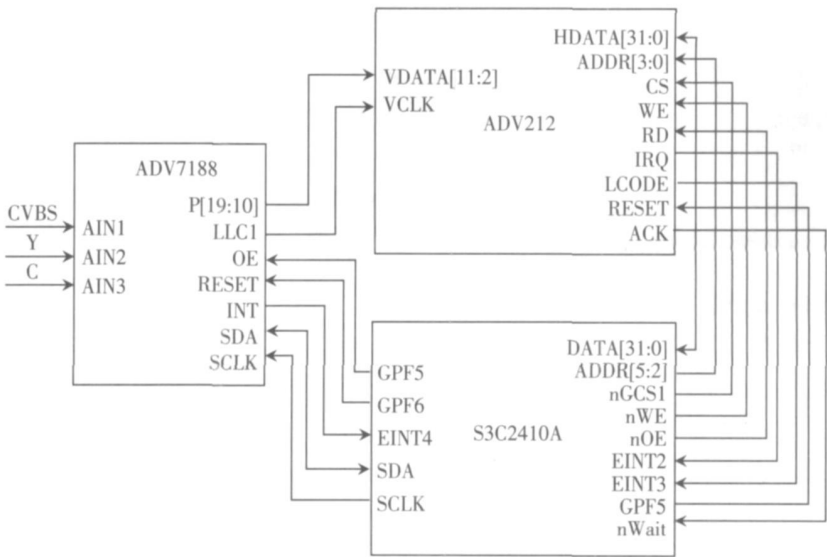


图 3 视频处理硬件电路

Fig.3 Video processing hardware circuit

ADV7188 为标准清晰度视频 (SDTV) 解码器, 可以自动检测 PAL、NTSC 和 SECAM 标准的复合视频 (CVBS)、S-video 和分量视频格式的模拟信号, 并转换成 ITU-R BT. 656 标准的 YCbCr(4:2:2) 数字分量视频, 精度为 8/10 bit. 它与 ADV212 以及 CPU 之间的电路连接, 如图 3 所示. ADV7188 将分量视频 YCbCr 交织后, 输出到视频端口 P[19:10], 并通过 LLC1 输出 27 MHz 时钟进行同步. CPU 通过 IIC 接口, 对 ADV7188 进行参数配置和状态检测.

ADV212 通过视频输入端口 VDATA[11:2], 接收 ADV7188 解码后产生的 ITU-R BT. 656 数字分量视频, 并按照 JPEG2000 标准进行压缩, 压缩后的数据存放在 ADV212 内部的 CODE FIFO 中. CPU 与 ADV212 之间连接, 采用 ADV212 提供的 32 bit 正常主机模式的异步 SRAM 接口, 其 16 个直接寄存器映射到 CPU 的 BANK1 的 0x0~0x3C. CPU 通过该接口对 ADV212 进行固件加载、参数配置, 并从 CODE FIFO 中读取压缩视频数据.

2.2 软件设计

系统软件, 包括 CPU 基本系统的软件和视频压缩系统的软件. 前者, 主要包括系统的 BootLoader移植和嵌入式 Linux 移植, 关于这方面的资料很多, 本文不做讨论. 后者, 是系统核心的应用软件, 这里主要介绍这部分软件的设计.

视频系统的软件, 分为 ADV 7188 软件设计和 ADV212 软件设计. ADV7188 的软件主要实现对 ADV7188进行初始化. CPU 通过 IC 接口访问其内部存储空间, 设置工作参数, 包括 CVBS Y/C视频输入通道的选择, ADC 开关设置, 外接晶振频率设置, YCbCr 的输出精度、取值范围、同步时钟、同步方式 (EAV /SAV 或 HS /VS /FIELD), 以及视频处理的滤波器设置等. 设置成功后, CPU 通过查询 ADV 7188内部的状态寄存器, 检测到合法的模拟视频信号后, 再进行后续的 ADV 212配置, 并启动视频压缩.

ADV 212可以配置为执行压缩或解压处理, 这取决于芯片复位后初始化阶段所加载的固件 (压缩固件还是解压固件). 压缩编码配置, 包括压缩算法的固件加载和编码参数的设置. 初始化流程, 如图 4所示.

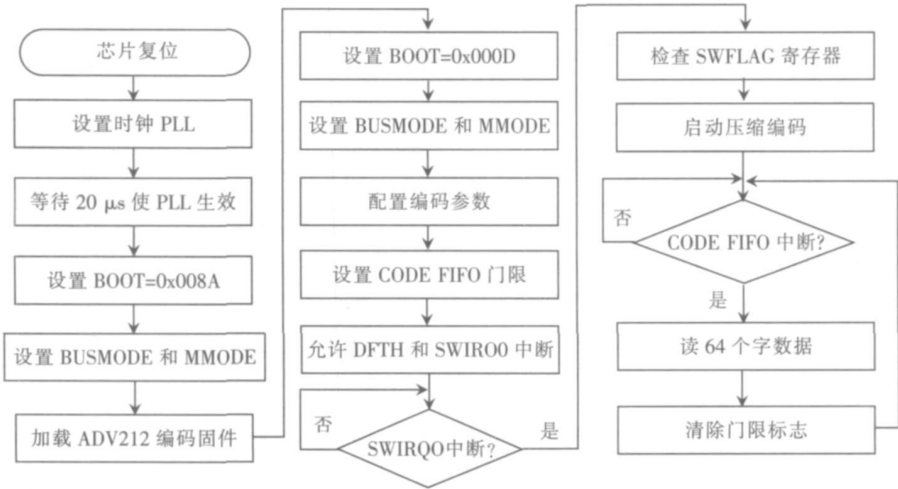


图 4 ADV212 初始化流程  
Fig.4 ADV212 initialization flow

2.3 基于 JPEG 2000压缩视频的帧抽取应用

本文设计的系统, 基于 ADV212对每个视频帧独立进行 JPEG 2000帧内压缩, 这样便可以针对特定应用对压缩视频进行基于帧的操作, 如帧的抽取、插入, 应用场合包括视频编辑、高质量安全监控、医学影像等. 通过监控系统, 记录特定事件, 没有必要存储完整的视频, 一般只需一幅或几幅清晰的图像. 采用本系统, 通过设置较低的压缩比, 获得高质量的视频, 然后从该连续的视频中抽取一定数量的图像帧保存到本地硬盘和传输到监控中心. 这样既能解决 MPEG 压缩方案图像质量不佳的问题, 又能极大降低存储传输的数据量, 有效适应网络带宽不足和硬盘空间有限的问题.

ADV212对每个帧 场图像压缩后, 压缩数据头部都有一个特有的 header标志段, 包含奇偶帧 场标志以及图像编号索引, 因此 CPU 可以根据该 header非常方便地实现帧抽取 (丢帧) 处理. 要通过监控器显示 PAL 视频, 需要对抽取的图像序列进行插帧, 使之成为 25 帧 /s 的 PAL 压缩视频, 然后再进行解压和视频信号生成. 插帧, 一种简单的实现方式, 就是将抽取得到的每一帧重复  $N - 1$  次, 其中  $N$  为压缩后帧抽取的频率.

表 3 不同码率的视频质量

Table 3 Video quality of different codestream rate

视频精度	控制参数	码率	压缩比	视频质量
8 bit PAL	0x0004E2	500 Kbps	331	画面很模糊
	0x0009C4	1M bps	165	画面模糊
	0x001388	2M bps	83	画面稍有模糊
	0x001D4C	3M bps	55	画面较清晰
	0x002710	4M bps	41	画面质量较好
	0x0030D4	5M bps	33	画面质量较好
	0x003A98	6M bps	27	画面质量很好

3 结果与分析

本文的系统, 支持的码率控制方式有两种 —— 目标码率和目标质量. 通过本系统, 对普通 25 帧 /s 8 bit 精度的 PAL 标清视频, 分别设定不同的目标码率进行压缩, 然后再进行视频解压, 重建的视频质量的主观评价结果如表 3 所示.

图 5 中, ( a)、( b)为同一 PAL 标准清晰度视频帧,按照 1Mbps 和 4Mbps 的目标码率进行压缩,然后采用 Kakadu 软件解码和显示的图像. 两幅图像的压缩比分别为 165 和 41,分辨率均为  $720\times 576$ .



图 5 两幅不同压缩比的图像

Fig.5 Two images with different compression ratio

图像效果表明,压缩后码率为 1Mbps 的视频,其图像较为模糊.当码率提高到 4Mbps 后,图像非常清晰,细节丰富,可满足高质量视频图像应用需要.如果对采集的 PAL 标清视频按照压缩比 41 进行 JPEG2000 压缩,压缩的视频按照 4:1 进行帧抽取并保存,即每 s 约保存 6 帧原始图像,对应的数据率为 1Mbps,可以获得 (b) 图的图像质量.

4 结束语

本文分析了现有的视频图像压缩标准特点,并与 JPEG2000 压缩标准进行了比较,显示了 JPEG2000 用于视频压缩的诸多优点,在此基础上提出将 JPEG2000 标准用于视频图像压缩系统.通过该系统提取了不同压缩比下的视频帧图像.结果表明,在压缩比为 41 下,可以获得满意的图像质量,可以满足大部分的实际应用.提出的 JPEG2000 压缩和帧抽取相结合的方案,可以同时兼顾低数据速率和高图像质量的监控需要,具有很好的应用价值.

[参考文献] (References)

[ 1 ] ZhengtingHe 视频监视领域的视频压缩与数据流[ J]. 中国公共安全, 2007, 10B: 142-144  
ZhengtingHe Video compression and datastream in the field of video survience[ J]. China Public Security, 2007, 10B: 142-144 ( in Chinese)  
[ 2 ] Boliek M, Christopoulos C, Majani E. JPEG 2000 Part I Final Committee Draft Version 1.0[ Z]. ISO /IEC JTC1/SC29 WG1 N1646R, March 2000  
[ 3 ] Skodras A, Christopoulos C, Ebrahimi T. The JPEG 2000 Still Image Compression Standard[ J]. IEEE Transactions on Signal Processing 2001, 18( 5): 35-58  
[ 4 ] Michael D. Adams. The JPEG-2000 Still Image Compression Standard[ Z]. ISO /IEC JTC1/SC29/WG1 N2412 September 2001.  
[ 5 ] Majid Rabbani Rajan Joshi An overview of the JPEG 2000 still image compression standard[ J]. Signal Processing Image communication, 2002, 17( 1): 43-48  
[ 6 ] Christine Bako. JPEG 2000 image compression[ J]. Analog Dialogue, 2004, 38( 3): 3-7.  
[ 7 ] Taubman D. High performance scalable image compression with EBCOT[ J]. IEEE Trans on Image Processing 2000, 9(7): 1158-1170

[责任编辑: 刘 健]