

JPEG 2000图像压缩技术

JPEG 2000 Image Compression

Analog Devices Christine Bako

引言

JPEG(联合图像专家组)2000标准于2001年完成,它采用最先进的基于小波技术的压缩方法定义了一种新的图像编码方案。它的体系结构适用于许多不同应用,包括因特网图像传送、安全系统,数字摄影和医学成像。

关于什么是JPEG 2000以及它与其它的压缩标准如MPEG(运动图像专家组)-2、MPEG-4和早期的JPEG相比有何不同,还存在许多模糊问题。本文试图通过与其它压缩标准的简要比较澄清一些对JPEG 2000常有的误解并介绍其鲜为人知的潜在优势。

CCTV 安全应用

在传输和存储图像信息时,为了保证图像分辨率同时充分利用有限的信道带宽,必须使用压缩。如果原图能够从信道中完全恢复出来而没有任何信息损失,那么压缩就是无损的,否则就是有损的。JPEG 2000是唯一能提供无损压缩和有损压缩的标准压缩方案。所以它适合于那些尽管存储和传输带宽资源有限但要求高质量图像的应用。

基于JPEG 2000的系统的一个重要特点就是它具有从单个JPEG 2000码流中提取各种分辨率、分量、感兴趣区域和压缩比的能力。这在任何其它压缩标准中都是不可能的,因为图像尺寸、

比特率和图像质量必须在编码器端明确规定,不能在解码器端规定或改变。

例如,一个闭路电视(CCTV)安全系统可以利用这个特点将单个JPEG 2000码流发送到一个窄带网络上。可以在硬盘驱动器(HDD)中存储高分辨率图像而在监视器上显示几种低分辨率的图像。接收端的操作者可以决定需要从发送来的单一码流中提取哪些信息。

JPEG 2000是逐帧编码的,其压缩格式中包含了输入的每一单帧信息。另一方面,MPEG系统通过时域压缩(不把每一帧当做完整的图像来编码)减少数据量,所以MPEG压缩不是逐帧编码。因此,法律条例限制了在某些安全应用中采用MPEG压缩。为了绕过这个

问题,安全系统和设备供应商为了提供包含原始图像中每一单帧的压缩码流,就不得不开发他们自己的压缩方案——或采用低效率的运动JPEG(M-JPEG)压缩标准。而现在他们可以把JPEG 2000用于新的设计。

因特网图像发送

JPEG 2000标准的另一个特点就是渐进编码,是指比特流可以按照这样一种方法编码:在码流的开始包含较少的细节信息,随着码流的逐渐前进包含更多的细节信息。这种编码方法使其适合因特网和其它网络应用——尤其是有大图像和低带宽的应用——因为即使是在低速率网络或图像数据

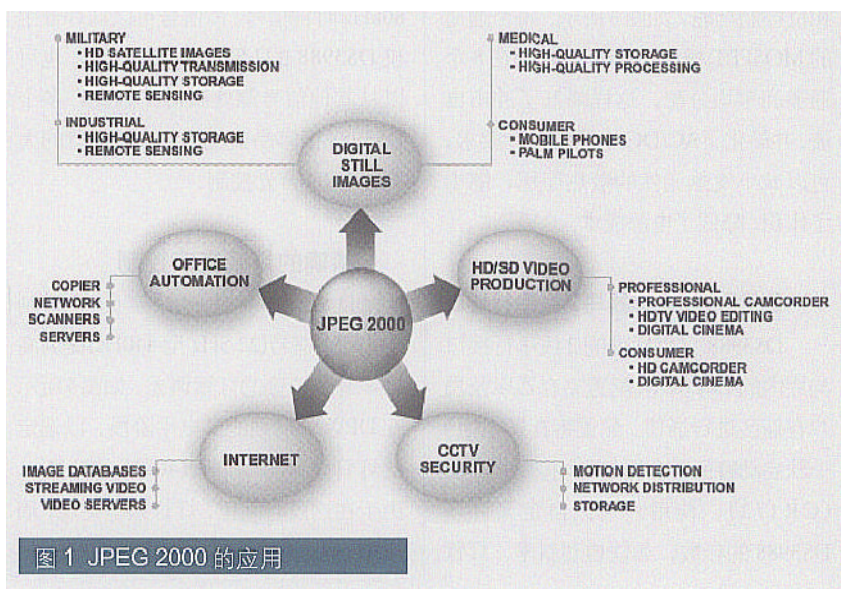


图1 JPEG 2000 的应用

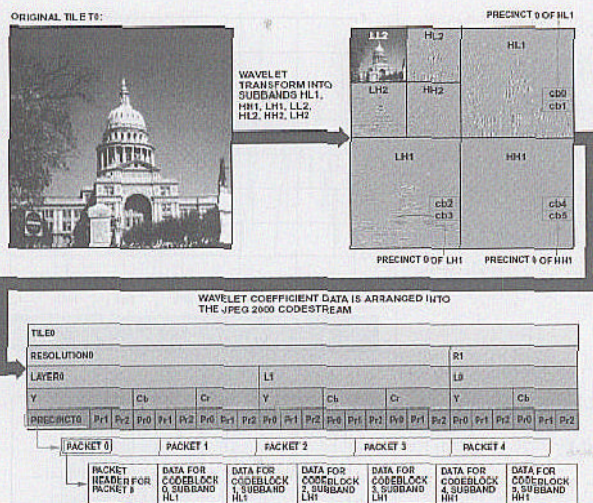


图2 编码——图像经小波变换后分成的子带及分辨率

库中也能在解码端立刻看到图像。首先可看到低分辨率的图像，随着时间的推移，图像的分辨率会逐渐提高。图像会随着时间的推移变得越来越清晰，具有越来越多的细节，不需要下载全部数据就能看到整幅图像。

因为能立刻看到低分辨率的图像，所以接收端的用户可以决定是否要看完全解码的图像，或者跳过它而浏览下一幅图像。用户可以观看分辨率和质量等级（压缩比）不同的图像，从而使其适合任何传输带宽、连接速度或显示设备。另外，JPEG 2000编码提供了对图像的特定区域放大或缩小的选项——或者以不同的分辨率或压缩比显示图像特定区域。

高清晰度应用

在极高的压缩比条件下，JPEG 2000视频开始模糊，但视觉效果还是相当好的。然而MPEG或JPEG等以前的标准的视觉效果就要差得多，因为在高压缩比时可明显地看出图像分成了

很多小方块。JPEG 2000在采用中高比特率时具有很高的图像质量，其图像内容可包含许多运动(motion)(没有以前标准的方块效应)并且效率很高，从而使其适合高清晰度(HD)应用，例如数码相机、HD录制系统以及HD照相设备。

许多应用都要求精确的比特率控制。只有JPEG 2000能提供这样的控制。精确的比特率控制可以简单实现，首先整帧或整场的数据同时被变换，然后将其分解形成比特流或者码块，这些操作可以按照下面的方法独立地进行。在采用离散余弦变换(DCT)的系统中，控制比特率的唯一方法就是量化，这就给精确的比特率控制带来困难。在DCT系统中为了控制比特率，必须重复地对信息进行再处理和再量化。JPEG 2000中采用的速率控制算法是截断每个比特流以满足规定的目标比特率，按照要求调整截断点和每一个码块数据的再量化。除了设定目标

比特率以外，该标准还允许用户指定特殊的质量标准。在这种情况下，可以调整目标比特率以满足规定品质因数，只要性能不低于规定的峰值信噪比(PSNR)。PSNR是一项表征图像质量的参数，相当于被感知的图像质量。

JPEG 2000 码流

将一幅给定的输入图像或者图像的一部分(图像片(tile))发送到一组小波滤波器，这种小波滤波器可以把像素信息转换为小波系数，然后被分成几个子带。Analog Dialogue(模拟对话)杂志30-2(1996)期首次介绍了小波系数在编码中的使用。每个子带包含反映整幅原始图像在水平方向或垂直方向的空间频率范围的小波系数。这表明较低频率、较少细节的信息包含在第一级变换中，而更多细节、较高频率的信息包含在较高级的变换中。为了简便，这里只示出两级变换。第一级变换产生子带LH1, HH1, HL1和LL1。只有子带LL1被进一步的滤波，生成下一级变换并产生子带LH2, HH2, HL2和

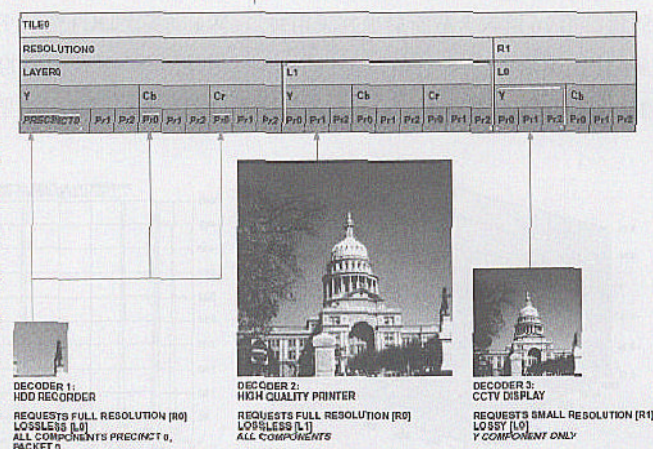


图3 解码——几个不同解码器接收同一个JPEG 2000 码流

LL2。

每个子带内都产生大小相等的码块,其本质上是数据的比特流。这种分解对系数的建模和编码来说是必要的,并且是按照码块逐块完成的。实质上,首先通过对每个码块包含的比特流进行截断和(或)再量化完成实际压缩。然后采用一种称作后压缩速率控制(PCRC)的方法对这些比特流进行最佳截断。

这些码块可以独立存取。每个子带按照三种编码过程将它们编码成比特流。这个过程称为上下文建模,首先分配每个系数位的重要性信息。然后可以按照其重要性对这些码块分组。这样在解码器端可根据其重要性提取信息,从而允许首先看到最重要的信息。

JPEG 2000可以包含用户自定义的层数,用PCRC和上下文建模来定义。每一层代表一个特定的压缩比,此压缩比可以通过控制量化、率失真计算和上下文建模的过程实现。例如,第0层的比特流从有损的WT变换系数产生,被截断最多并且不含编码过程,所以提供了最高的压缩比和最低的图像质量。第16层包含截断最少并采用较多编码过程的比特流,所以提供低压缩比和高图像质量。

图像片或图像被进一步地划分为区块。这些区块包含许多码块,用于方便地存取一幅图像中的特定区域,其目的是可以用不同的方式处理该区域或者只对一幅图像中的特定区域解码。JPEG 2000比特流是通过低子带优先的顺序将码块或区块编排成一组信息包而产生的。

JPEG 2000码流以一个信息头部开始,包含如下基本信息:未压缩图像尺寸、图像片尺寸、分量数、各分量的比特深度、编码方式、变换级数、渐进顺序、层数、码块尺寸、小波滤波器类型、量化等级等等。整幅图像数据被分成LL、HL、LH和HH子带的码块,紧跟在此头部的后面。头部信息中不包含图像数据。在编码器端还可以存储一个目录表格,允许解码器按照要求申请特定的分辨率,无须首先解码或者下载完整的JPEG 2000码流。

DCT 和 WT 的比较

JPEG 2000 采用小波变换(WT)以降低图像中包含的信息量,而MPEG和JPEG系统采用离散余弦变换(DCT)。WT确实比DCT需要更多的处理能力,但是MPEG系统需要的不仅仅是DCT。DCT变换或者任何类型的傅立叶变换,

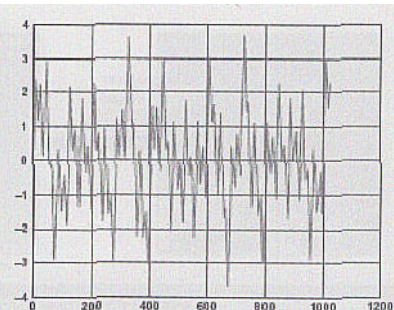


图4 包含频率A,B,C和D的输入信号1

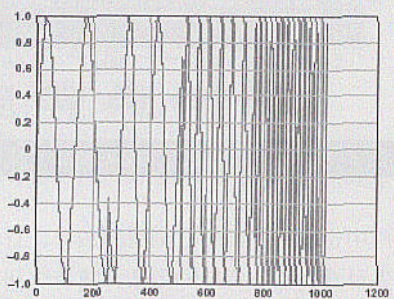


图5 包含频率A,B,C和D的输入信号2

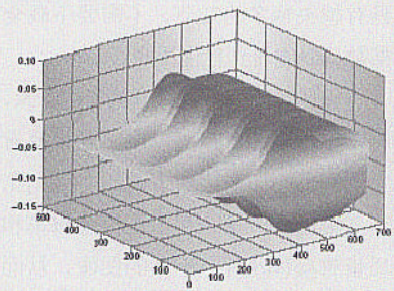


图6 信号1的小波变换

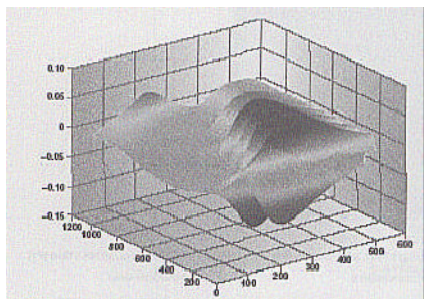


图7 信号2的小波变换

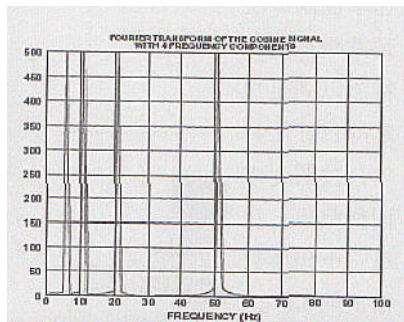


图8 信号1的傅立叶变换

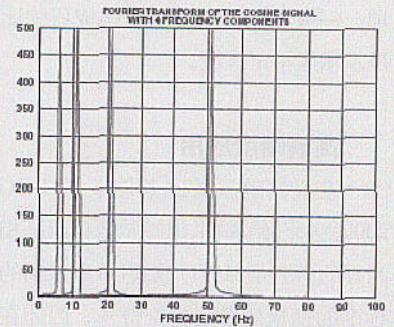


图9 信号2的傅立叶变换

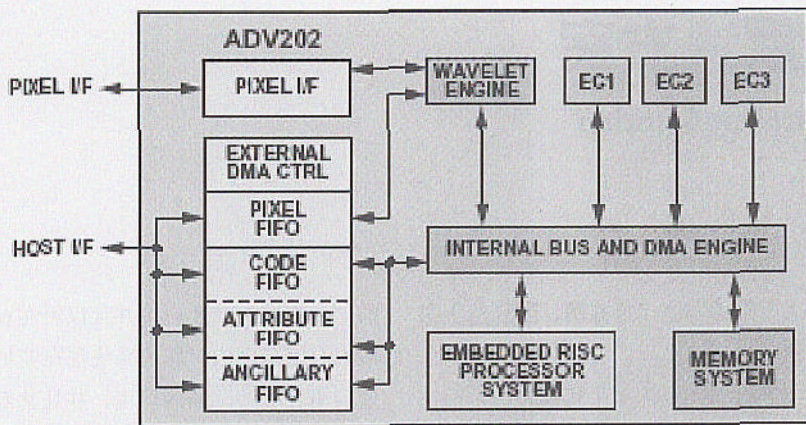


图 10 ADV202 方框图

都是用频率和幅度表示信号——但是只能用某一时刻的频率和幅度表示。WT 能将信号变换成随时间变化的频率和幅度,所以它是更有效的变换。文中给出的示意图可以说明这一点。

为了获得与采用 WT 得到的相同的信息量, DCT 必须对所有频率进行变换,而且每次都必须对每个 8×8 的像素块进行所有频率分量的瞬时变换。另外,为了降低用于进一步运动估计(motion estimation)的数据量 MPEG 系统采用了帧间压缩(运动估计)。这就需要在外存储器中至少存储两个完整帧的信息。这种计算量大的运动估计过程需要功能很强大的处理器。在 JPEG 2000 系统中也可采用时域压缩,但这不是 JPEG 2000 标准固有的。

JPEG 2000 的优势

所有的 MPEG 标准都很复杂,计算量相当大。这在标准清晰度(SD)应用中引起很大的处理等待延时以及对内存的要求。当考虑高清晰度(HD)格式时,这些因素导致的问题更大,而 JPEG 2000 就变得更加理想了。JPEG 2000 的

另一个优势就是该标准本身,它可以在许多不同应用中提供极大的灵活性和控制。在格式方面它更具有更多的功能:JPEG 2000 支持从每样本 8 bit 到每样本不限比特数的任意格式,而 MPEG 只支持 8 bit 数据格式。

即使在 MPEG-2 已经为 DVD 和广播应用建立了标准的情况下, JPEG 2000 也越来越盛行。JPEG2000 在需要通过无线或其它链路高质量存储和传输 HD 图像的应用中也非常流行。

ADV202

从 20 世纪 90 年代初期,ADI 公司就对小波压缩的研发进行了很大的投资。该公司于 1996 年推出了 ADV601,这是业界第一个小波压缩硬件解决方案。ADI 公司于 2004 年 7 月发布的最新小波编解码器 ADV202 据称是迄今为止市面上唯一的 JPEG 2000 专用 IC。ADV202 是一种完整的单芯片 JPEG 2000 压缩和解压缩 IC,可用于高清晰度视频、标准清晰度视频以及静止图像。它支持 ISO/IEC15444-1(JPEG 2000)图像压缩标准的全部功能(Maxshift ROI 编码方法除外)。它的 SURF(空间高效

递归滤波)专利技术提供了低功耗、低成本基于小波的压缩。ADV202 包含一个专用小波变换引擎,三个熵编解码器,一个 RISC 处理器和内置存储系统,可以提供一个无缝的接口支持通用的视频标准,例如 ITU-R BT656, SMPTE274M 或 SMPTE296M。它可以产生完全符合 JPEG 2000 标准的码流(.j2c, .j2p)。还可提供原始码块和属性数据,允许主机处理器对比特产生过程和压缩过程进行完全的控制。

尽管数字信号处理器(DSP)的性能已经有了很大的提高,但是在一个标准清晰度编码应用中,一个 DSP 要获得与 ADV202 相匹配的性能就必须在一秒钟内执行 200 亿条指令。ADV202 的三个专用的片内熵编解码器作为有效的加速器可以提供很高的吞吐率。

JPEG 2000 展望

采用 JPEG 2000 硬件解决方案的主要优势是具有比其它任何压缩方案都低的等待时间,这是一个非常重要的因素,特别是在医学应用中。

几个主要的视频和广播设备制造商已经将 JPEG 2000 标准用到了未来的 HD 产品中,例如实时解码编码系统和视频服务器等。

The Digital Cinema Initiative(DCI)最近宣布它将在传送数字活动图像时采用 JPEG 2000 作为压缩方法。ADV202 现已被引入到网络视频应用中的 CCTV 和安全市场的许多产品设计中。

鉴于支持 JPEG 2000 标准的 ADV202 具有使用的灵活性和高图像压缩质量等特点,它有望用于所有应用图像和视频压缩的实际设计之中。■