

## 从H. 264向H. 265的数字视频压缩技术升级

刘国梁

(北京铁路通信技术中心, 北京 )

**摘要:** H. 264虽然是一个划时代的数字视频压缩标准, 但是随着数字视频产业链的高速发展, H. 264的局限性逐步显现, 并且由于H. 264标准核心压缩算法的完全固化, 并不能够通过调整或扩充来更好地满足当前高清数字视频应用。通过描述H. 264的关键技术, 重点分析H. 264的优缺点, 并指出H. 264向H. 265数字视频压缩技术升级带来的变化和技术提升。

**关键词:** H. 264; H. 265; 数字; 视频压缩; 升级

**Abstract:** H.264 is an epochal digital video compression standard, but the limitation of H.264 comes into existence with high-speed development of the digital video industrial link. In addition, because the compression algorithm of H.264 standard is fully hardening, it cannot meet the high-definition digital video application through adjustment or expansion. The paper analyzes the advantages and disadvantages of H.264 based on the description of key technologies of H.264, and points out the changes due to the upgrade from H.264 to H.265 digital video compression technique and technical advancement.

**Keywords:** H.264; H.265; digital; video compression; upgrading

**DOI:** 10.3969/j.issn.1673-4440.2011.03.012

H.264, 又称 MPEG-4 part10, 也称 AVC (Advanced Video Coding), 是一个数字视频压缩标准, 由 VCEG (ITU-T Video Coding Experts Group) 和 MPEG (ISO/IEC Moving Picture Experts Group) 联合组成的 JVT (Joint Video Team) 开发, 于 2003 年 5 月发布公开使用的第一个草稿版本。

H.264 和以前的标准一样, 也是 DPCM 加变换编码的混合编码模式。但它采用“回归基本”的简洁设计, 不用众多的选项, 获得更好的压缩性能; 同时它加强了对各种信道的适应能力, 采用“网络友好”的结构和语法, 有利于对误码和丢包的处理。H.264 的应用目标范围较宽, 以满足不同速率、不同解析度以及不同传输(存储)场合的需求, 涵盖目前大部分的视频服务, 如有线电视远程监控、交互媒体、数字电视、视频会议、视频点播和流媒体服务等。

### 1 H. 264的关键技术及优势

H.264 编码的压缩过程, 继承了以往的数字视频压缩协议, 把图像分成单个宏块 ( $16 \times 16$ ), 以宏

块为单位进行压缩, 在数字视频压缩效率提升的技术演进中, H.264 引入了大量的技术改进点, 如图 1 所示为一个宏块的编码过程。

图 1 中的关键技术点也正是 H.264 的优势所在。

#### 1) 多参考帧。

H.264 引入了每帧多达 16 个参考帧的参考技术, 相对于以往的数字视频压缩协议, H.264 的多参考帧技术更加灵活可变。

#### 2) 多变的帧间块类型。

H.264 可以使用最大  $16 \times 16$ 、最小  $4 \times 4$  的帧间块类型, 每个宏块的亮度预测块大小可以划分为  $16 \times 16$ 、 $16 \times 8$ 、 $8 \times 16$ 、 $8 \times 8$  四种分割块, 每个分割块可以使用不同的预测矢量和参考帧图像, 而在  $8 \times 8$  分割块模式下, 每个  $8 \times 8$  又可以分割成  $8 \times 8$ 、 $8 \times 4$ 、 $4 \times 8$ 、 $4 \times 4$  四种子分割块, 每个子分割块可以使用不同的预测矢量。因此, 对于单向预测的每个宏块, 同时可多达 4 个参考帧和 16 个预测矢量, 可以对预测区域进行更加精确的分割, 进一步提高预测进度。

#### 3) 亚像素预测。

H.264 的半像素预测样点使用了一个类似于低

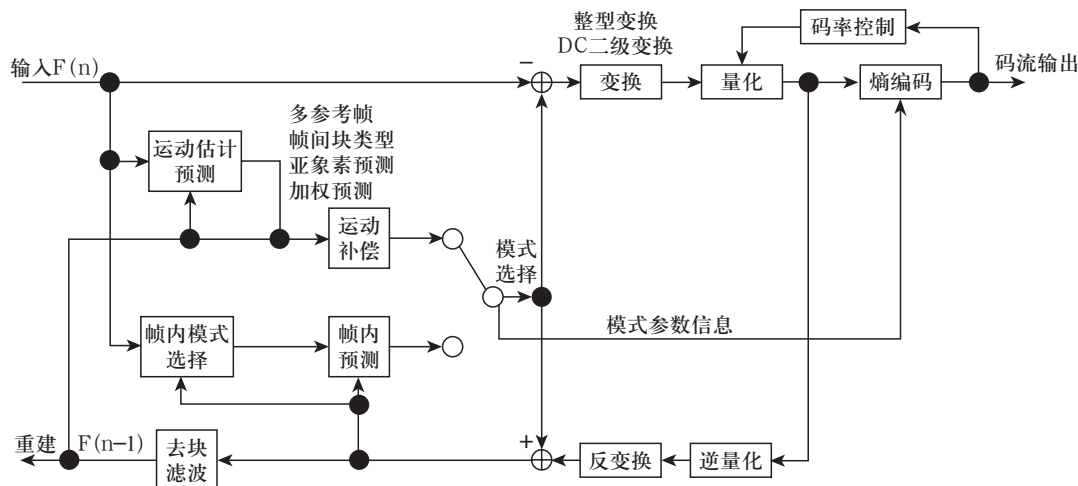


图1 H.264的宏块编码实现原理图

通滤波的6阶滤波器，相对于以往的数字视频压缩亚像素插值算法，H.264能够更加提高半像素的预测效率，而1/4像素使用半像素的线性插值，即进一步提升了半像素的滤波效率，又可以降低1/4像素的处理功耗。

#### 4) 加权预测。

加权预测的使用，可以在双向预测时使用不同的加权系数对双向参考进行抽样，生成加权后的预测值，这种处理对于一些淡入淡出、交叉淡出过渡的数字视频场景具有非常明显的预测效率提升作用。

#### 5) 帧内预测。

H.264在帧内预测的实现上相对于以往协议有明显的改进，规定了4种 $16 \times 16$ 、9种 $8 \times 8$ 、9种 $4 \times 4$ 和4种色度 $8 \times 8$ 的预测模式，允许使用左侧和上侧像素点进行预测的方法，可以明显提高在空间域上相似性很高的图像帧内压缩效率。

#### 6) 整型变换。

相对于以往的数字视频压缩协议，H.264第一次引入了整型变换的实现方式，包括 $4 \times 4$ 和 $8 \times 8$ 2种自适应的变换方法。整型变换的引入，一方面可以大大降低H.264实现的功耗，另一方面由于整型变换没有以往协议中浮点运算带来的精度损失问题，可以更大程度提高残差变化后的解码鲁棒性。

#### 7) 直流系数的二级变换。

直流系数(DC系数)，又称低频系数，H.264规定帧内预测时，在一级整型变换之后使用二级直流系数的Hardmard变换，可以将各个DCT变换

块的DC系数进一步压缩，这种变换在平坦区域的压缩效率提升非常明显。

#### 8) 量化。

H.264规定使用一个对数步长的量化矩阵，更有利于编码器计算和控制压缩效率，实现更加精准的码率控制算法，同时规定了量化的整型运算过程，也可以更有利于反变换的简化实现。另外，H.264允许用户使用自定义的量化系数矩阵，这种方式可以使客户再进一步优化自己的编码器，使得编码量化过程可以根据量化系数的分布概率进行优化，进一步提升压缩效率。

#### 9) 去块效应滤波器。

H.264规定一个编解码环内(in-loop)的去块效应滤波器，引入针对内容检测判决的滤波算法，能够保证画面内容的同时，又能够大大降低由于块变换和量化带来的方块效应，去块效应滤波器的使用能够明显提升输出画面的视觉效果，同时也能够增加参考图像的预测效率，进一步提升压缩效率。

#### 10) 熵编码。

H.264的熵编码主要包含两部分：一是针对语法元素的熵编码，包括对参数信息、宏块模式信息、预测矢量信息等，使用的是哥伦布指数编码方法(Exp-Golomb)，这种方法能够对高概率出现的低数值系数使用最少的比特数，根据概率最大化的压缩参数信息；二是针对量化后残差系数的熵编码方法，有CAVLC和CABAC两种，其中CAVLC是一种低复杂度，基于上下文自适应的熵编码方法，其系数的比特数设计是根据经验统计的概率分

布情况对 H.264 系数进行码表设计,应用时根据实际的系数分布状况进行上下文关联查表编码,而 CABAC 是一种基于内容的算术编码方法,复杂度比 CAVLC 更高,压缩效率也比 CAVLC 更高。

#### 11) 场编码。

针对特定的隔行扫描视频(又称场视频),H.264 专门定义了一种编码方法,称之为场编码,包括帧级自适应和宏块级自适应 2 种编码方法,可以更加灵活的判断隔行图像扫描场景,大大提升隔行扫描视频的编码效率。

## 2 H.264 缺点分析

H.264 的草稿于 2003 年 5 月份就发布了,其后不断的更新也主要是一些特定应用场景的补充,几个主要的补充包括:2005 年补充的用于更高像素点采样的 Hi10 Profile、Hi422 Profile、Hi444 Profile,2007 年补充的应用于异构网络的 H.264-SVC (Scalable Video Coding),2009 年补充的应用于 3D 立体数字视频的 H.264-MVC (Multiview Video Coding)。

对于宏块级数字视频压缩的处理过程,H.264 没有任何的修改,包括帧间预测、帧内预测、变换量化、熵编码和去块效应处理过程,都还一直保持着 2003 年草稿发布时的实现方式。也就是说 H.264 核心压缩原理一直没有调整更新。

但是随着数字视频应用产业链的快速发展,特

别是从 2005 年高清数字视频的普及应用开始,原有的标清数字视频应用已经快速走向淘汰,数字视频的应用格式从 720 P 到 1 080 P,数字视频帧率从 30 fps 到 60 fps,短短几年就不断的突破发展。站在 H.264 的角度观察高清数字视频相对于原来的标清数字视频,不只是分辨率的提升,还有以下的显著特点。

1) 宏块个数的爆发式增加。以前的标清数字视频,比如 PAL 格式的标清为  $720 \times 576$  Hz,每秒钟的宏块个数为:  $MBs\_PAL/s = (720 \times 576 \times 25) / 256 = 40500$ ; 但是一个 720P 60 fps 的数字视频,其每秒钟的宏块个数为  $MBs\_720P60/s = (1280 \times 720 \times 60) / 256 = 216000$ ,是 PAL 数字视频的 5.3 倍; 一个 1080P 60 fps 的数字视频,其每秒钟的宏块个数为  $MBs\_1080P60/s = (1920 \times 1088 \times 60) / 256 = 489600$ ,是 PAL 数字视频 12.1 倍。

2) 宏块内容复杂度的降低化。以前的标清数字视频,需要在一个有限的分辨率画面中包含尽可能多的画面内容,因此平均分配到一个宏块中的画面内容就会比较复杂,而进入高清数字视频之后,摄像头的摄像角度基本上没有太多的增加,但是由于分辨率的增加,因此平均分配到每个宏块中的画面内容相对会更加简单,如图 2 所示,左侧为低分辨率中一个宏块包含的内容,右侧为高分辨率下同样的内容分到多个宏块中了,相对来说每个宏块的内容复杂度已经大大降低,单个宏块的编码效率是可



图2 宏块内容复杂度平滑化图示

以提高的。

3) 运动矢量数值的大幅度增加。相对于一个 PAL ( $720 \times 576$ ) 的标清数字视频,如果物体在两帧时间内从画面左侧高速运动到画面右侧,其运动矢量就是 720,但是对于 1080P ( $1920 \times 1080$ ) 的高清数字视频,如果物体在两帧时间内从画面左侧

高速运动到画面右侧,其运动矢量就是 1920 了。如图 3 所示,左侧画面为一个水平分辨率为 704 的数字视频画面,右侧画面为一个水平分辨率为 1280 的画面。同样的运动场景,在左侧画面中,MV 使用 32 就可以描述了,但是在右侧画面中,MV 需要使用 58 才能描述该运动矢量。



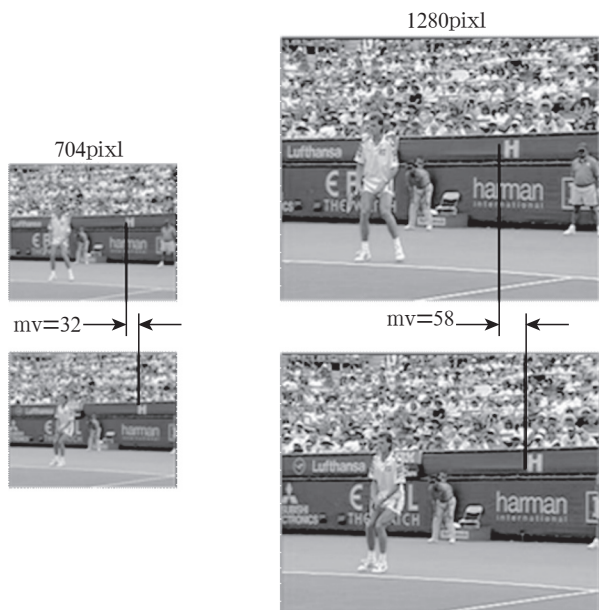


图3 运动矢量数值大幅度增加图示

前文已经指出, H.264 是以  $16 \times 16$  的宏块单位进行编码的, 所以对于高清数字视频图像具有如下特点。

①宏块个数的爆发式增长, 会导致每个编码宏块的预测模式、运动矢量、参考帧索引和量化级等宏块级的参数信息在海量的高清数字视频宏块个数中, 占用太多的码流资源, 在有限的带宽资源中, 分配给真正描述图像内容的残差系数信息的可用带宽明显减少了。

②单个宏块内容复杂度的降低化, 导致一个  $4 \times 4$  或  $8 \times 8$  块内的变换系数也倾向于低频化, 相邻的  $4 \times 4$  或  $8 \times 8$  块变换后的低频系数相似程度也大大提高, 也就是说, 以  $4 \times 4$  或  $8 \times 8$  为单位的变换并不能提高低频系数的压缩效率, 由于变换块的颗粒度太小, 会导致高清数字视频编码时, 在相邻的变换块之间出现大量的数值比较接近的低频系数。

③ H.264 的宏块信息中, 前文已经提到, 对于一个单向预测的宏块, H.264 的运动矢量水平和垂直加起来最少 2 个最大 32 个, 对运动矢量预测值使用的是哥伦布指数编码, 该编码方式的特点是数值越小使用的比特数越少, 由于高清数字视频的应用, 运动矢量数值会大幅度增加, 导致的结果就是用来描述运动矢量数值的比特数也大幅度增加。

④ H.264 使用的熵编码方式为 CAVLC 和 CABAC 2 种, 这 2 种都是基于上下文的编码方法, 都要求编码过程为串行编码, 由于并行度太低, 这

种方式在 H.264 的产业化实现过程中, 特别是针对 GPU/DSP/FPGA/ASIC 等并行化程度非常高的 CPU, 熵编码和熵解码的串行化处理是非常浪费资源的。

### 3 下一代视频编码协议展望

目前, 由 MPEG 和 VCEG 组成的国际数字视频压缩标准组织 JVT 已经启动了下一代数字视频压缩标准的规划, 并且于 2010 年 10 月份完成第三次 JVT 会议, 下一代数字视频压缩标准目前命名为 HEVC (High Efficiency Video Coding), 即 H.265, 目标是在 H.264 标准 2 ~ 4 倍的复杂度基础上, 将压缩效率提升一倍以上。下一代数字视频标准主要有以下几个方向的技术提升。

更大的宏块类型, 相对于 H.264 的  $16 \times 16$  宏块类型, H.265 引入了  $32 \times 32$ 、 $64 \times 64$  甚至于  $128 \times 128$  的宏块类型, 目的在于减少高清数字视频的宏块个数, 减少用于描述宏块内容的参数信息。

1) 更大的变换块, H.265 会继续使用 H.264 的整型变换算法, 但是在 H.264 的  $4 \times 4$  和  $8 \times 8$  变换块基础上, 扩充到  $16 \times 16$ 、 $32 \times 32$  甚至于  $64 \times 64$  的变换和量化算法, 用于大大减少 H.264 中变换相邻块间的相似系数。

2) 使用一种新的 MV (运动矢量) 预测方式, H.265 提出了多种 MV 预测方式, 目前的标准工作组还在评估各算法的优劣, 并没有确定最终的 MV 预测算法, 但是肯定有别于 H.264 中只限于水平和垂直 MVD 的哥伦布指数编码, 毕竟该方法在高清数字视频中的编码效率确实较低。

3) H.265 会引入更加复杂的帧内预测方法, 在 H.264 中使用的最多 9 种的帧内预测方法, 由于宏块类型的扩大, 帧内模式的特征方向性也更加复杂, H.265 会扩充更加多的方向进行帧内的预测。

4) 熵编码的改进主要是在现有 H.264 CAVLC 和 CABAC 基础上, 使用并行度更高的熵编码算法, 会更有利于 H.265 在 GPU/DSP/FPGA/ASIC 等并行化程度非常高的 CPU 上快速高效的产业化。

5) 相对于原来 H.264 去块效应滤波器的处理, H.265 提出多个更加灵活的自适应去块效应滤波器, 包括 in-loop 和 out-loop, 目的是为了进一步

# EPON在铁路通信系统中的应用

靳 远

(中铁工程设计咨询集团有限公司, 北京 100055)

**摘要:** 以EPON技术在铁路中的应用, 简单叙述无源光网络在铁路通信应用的前景, 以及应用无源光网络较目前铁路通信接入技术的优势。

**关键词:** 无源光网络; EPON; 铁路通信; 接入网

**Abstract:** The paper introduces the composition of EPON, and elaborates the application prospect of EPON in railway communication and the advantages of EPON than existing railway communication access technology.

**Keywords:** passive optical network; EPON; railway communication; access network

**DOI:** 10.3969/j.issn.1673-4440.2011.03.013

无源光网络(PON)是一种纯介质网络, 系统可靠性高, 维护成本低, 是电信维护部门长期期待的技术。以太网与PON技术结合, 便产生了以太网无源光网络(EPON)。它同时具备以太网和PON的优点, 正成为光接入网领域中的热门技术。EPON技术的业务透明性较好, 原则上可适用于任何制式和速率信号。比如ATM化的PON技术, 结合无源分路器对光纤和光线路终端的共享作用, 使成本可望比传统的以电路交换为基础的SDH等接入系统低20%~40%。

## 1 EPON概述

### 1.1 EPON组成

PON技术从90年代初开始出现, 最初的PON技术是基于ATM体制, 由于国内没有相应的ATM骨干网络, 因而在国内没有规模应用。2004年以后, EPON和GPON两种新一代的PON技术产生, 国内开始对这两种技术加以关注, 目前应用更为成熟的是EPON。

EPON中主要的3部分包括位于局端的光线路

\*\*\*\*\*

提高解码输出的数字视频效果, 以及进一步提高参考图像的参考价值。

H. 265标准的发布和成熟都还有待所采用的编码技术和当前网络技术的发展。伴随着其他应用领域的发展需求和硬件技术的发展, H. 265的推出只是时间问题。国际标准组织也是跟随着产业链的发展趋势, 在对未来数字视频的发展做出预测之后, 组织并启动了下一代数字视频压缩算法的标准制定工作, 从目前的标准工作来看, 计划在2013年2月正式发布下一代数字视频压缩的标准HEVC(H.265)。H. 265标准的发展和成熟应类似于H. 264, 也将是多种编码方法和工具的混合

使用, 实现编码效率, 编码复杂度, 图像质量等方面的平衡, 它的发展也必将把视频编码理论技术和应用推向一个新的时期。

### 参考文献

- [1] H. 264 数字视频压缩技术详解[EB/OL]. [2011-02-17]. <http://wenku.baidu.com/view/b1a720d4b9f3f90f76c61bad.html>
- [2] 安讯士. H. 264 视频压缩标准拓展视频监控的潜力[EB/OL]. [2009-02-16]. <http://info.secu.hc360.com/2009/02/161125150848.shtml>
- [3] 陈清. H. 265 标准现状和发展应用趋势[J]. 中国多媒体通信, 2008(10):12-15.

(收稿日期: 2011-03-15)