

【本文献信息】何海东,董全武,纪琳.H.265/HEVC、VP9、H.264 编码算法比较及性能测试分析[J].广播与电视技术,2014,Vol.41(10).

H.265/HEVC、VP9、H.264 编码算法比较及性能测试分析

何海东,董全武,纪琳

(北京正奇联讯科技有限公司前沿技术实验室,北京 100085)

【摘要】本文基于 H.265/MPEG-HEVC, H.264/MPEG-AVC 以及 VP9 三种编码标准,做了详细的算法分析及编码性能比较。算法方面,H.265 在帧内预测、熵编码方案及后期处理技术方面具有明显优势,使其在图像压缩质量上领先于 VP9。测试方面,基于 PSNR 标准的编码测试得到了以下的测试结论:同等 PSNR 的条件下,H.265 较 H.264 有 38% 的码流节省,较 VP9 有 12% 的码流节省;H.265 在并行处理方面也优于 VP9。

【关键词】H.265、HEVC、H.264、VP9、性能测试、算法比较

【中图分类号】TP391

【文献标识码】A

Comparison and Performance Testing among H.265/HEVC, VP9 and H.264 Algorithm

HE Haidong, DONG QuanWu, JI Lin

(Frontier Technology Library of ZhengQi Video Technology Company, Beijing 100085, China)

Abstract The algorithm analysis and performance comparison of H.265, H.264 and VP9 has been presented in this paper in details. The picture quality of H.265 is superior to that of VP9 due to better intra-prediction, entropy encoding plan and post process algorithms. Experimental results based on PSNR show that H.265 provides the average bitrate saving of 38% and 12% relative to H.264 and VP9, respectively. H.265 provides better parallel algorithm than VP9.

Keywords H.265, HEVC, H.264, VP9, Performance Test, Algorithm comparison

0 引言

随着网络通信技术的发展以及有线和无线终端的大量普及,人们对于网络视频业务的需求日益增长。据统计,目前网络视频数据占据了整个互联网数据的 80% 以上。在这种

形势下,对于终端用户来说,如何能够在较低的带宽下获取更高质量的视频数据成为一个亟需解决的问题。新一代视频编码算法 HEVC 和 VP9 的出现为解决这一问题带来了曙光。HEVC 和 VP9 均号称在同等图像质量的情况下,较上一代编码器 H.264 和 VP8 有 50% 码流的节省。因此,本文对于

新系统的投入使用,实现了内外网安全透明的互联互通,使电台现有的业务系统和新媒体系统能方便的进行数据交换。同时优化与完善了业务流程,使广播节目制作手段更方便、播出更安全、管理更高效,大大提升了媒体企业的竞争力。RTBE

参考文献

[1] 何建华.全媒体互联互通及网络安全策略的实践[J].广播与电视

技术,2013(11):82-86

[2] 徐志斌.全媒体新闻制播系统建设的思索[J].广播与电视技术,2014(5):42-45

作者简介:

朱锦文,男,1982 年出生,硕士研究生,工程师,主要从事广播电视技术工作。

HEVC、VP9 及 H.264 在算法上做了详细研究并对这三种编码器进行了详细的测试。

1 HEVC编码技术介绍

1.1 HEVC 标准

HEVC 全称是 High Efficiency Video Coding, 是一种全新的视频编码标准, 是 H.264 的下一代视频编码标准。2010 年 1 月, VCEG 和 MPEG 组织联合发起新一代视频编码技术提案。视频编码联合小组对相关技术进行审议和评估, 并于 2010 年 4 月召开第一次会议, 会议中一共商讨了 27 个完整的提案。2013 年 1 月, ISO/IEC 和 ITU-T 组织同时发布了 HEVC 标准的最终版本。2013 年 1 月 26 号, HEVC 正式成为国际标准。HEVC 较 H.264 有 40%~50% 的码流节省, 并且增加了更多的并行机制和网络传输机制。

1.2 HEVC 编码技术亮点

1. 树型编码结构

HEVC 使用了更大的宏块进行编码, 这些宏块在 HEVC 中叫做 CTU(编码树单元), 大小可以为 16×16 、 32×32 和 64×64 像素。通过四叉树结构将 CTU 转换为 CU(编码单元)进行编码。在预测模式下部分 CU 将转换为 PU(预测单元)。对图像残差转换时 CU 转换为 TU(变换单元), 进行 DCT 转换和量化。

2. 帧内预测

帧内预测是用来压缩大量空域冗余数据的数据压缩方式。HEVC 的帧内预测一共有 33 方向的预测方向, 覆盖整个 180 度的范围, 并提供了 DC 和 PLANAR 两种平面预测方式, 共计 35 种预测方式(如图 1 所示)。通过多方向的预测可以增加预测的精度, 减小图像残差数据的产生, 增加数据压缩效率。

3. 先进的运动矢量预测技术

在运动补偿中, 为了压缩运动矢量的编码信息, 采用了运动矢量预测技术。通过运动矢量预测技术可以更加精准预测运动矢量, 减小预测误差, 从而更好地压缩运动矢量信息。HEVC 的运动矢量预测技术采用了更加复杂的时域结合空域的预测方式, 预测的候选者更多, 从而得到更加精准的结果。

4. 高阶滤波处理器

通过使用高阶的插值滤波器, 能够更好地对于亚像素精度的位置进行插值滤波处理, 从而降低残差数据的产生。HEVC 对于 $1/4$ 像素采用了 7 阶插值滤波器, $1/2$ 像素采用 8 阶插值滤波器。

5. 后期处理

后期处理在使用去块滤波器之外, 还使用了 SAO(采样点

自适应补偿) 技术。通过 SAO 技术, 可以更好地恢复图像质量, 同时又相对的限制了码流的提升。

6. 熵编码方案

HEVC 采用了高数据压缩率的熵编码方案 CABAC。CABAC 是一种上下文自适应的熵编码方案, 对于大于 0.5 概率的数据达到理想的数据压缩率。为了提高 CABAC 的数据吞吐率, HEVC 减少了大量的熵编码模型。

1.3 HEVC 架构介绍

HEVC 的整个架构主要分为预处理、编码器控制、帧内预测、帧间预测、DCT 转换、量化、反量化和后期处理几个部分。

整个架构的流程如图 2 所示。

1. 输入图像划分为 CTU。

2. 第一帧图像作为 I 帧只能进行帧内预测。帧内预测是建立在重建单元的基础上, 所以输入图像会直接进入量化和反量化解码流程, 解码后的图像中的部分重建像素用来进行帧内预测。

3. 帧内预测完毕后, 编码器控制器将开关打到帧内预测的输出口, 输出的预测图像同原始图像比较获取残差, 同时会将帧内预测的信息传输到 CABAC 中。

4. 获取的残差会通过变换和量化产生压缩信息, 这部分信息也将传输到 CABAC 中。同时为了下一帧的帧间预测, 需要将量化后的图像残差反量化回原始的图像残差, 然后连同帧内预测的图像叠加形成完整的解码图像, 然后进行后期的滤波处理和 SAO 处理。在此之后, 后期处理信息将会传输到 CABAC 中。

5. 第二张输入的原始图像将同解码的图像进行运动估计, 得出的运动矢量用来进行运动补偿, 此时编码控制器会将开

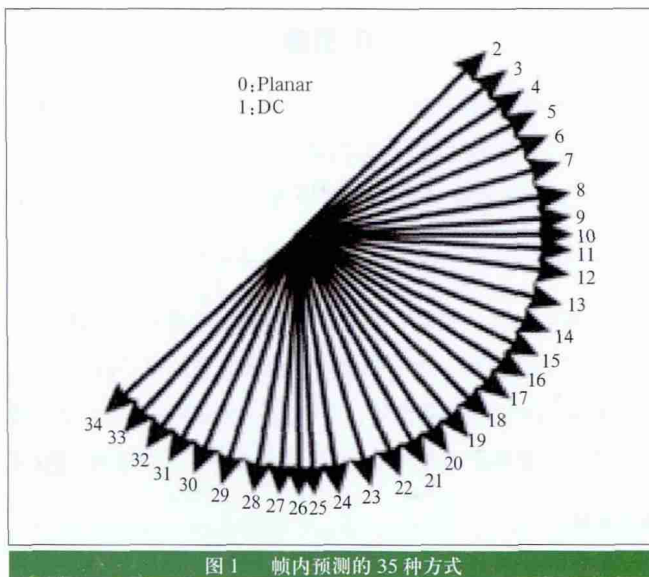


图 1 帧内预测的 35 种方式

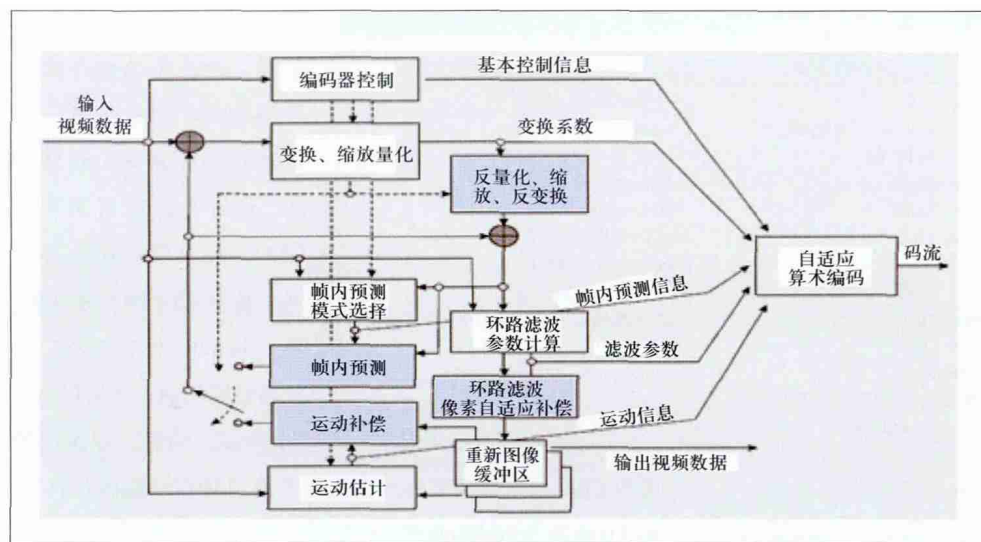


图2 HEVC架构

VP9 采用了 10 种帧内预测方式，并且帧内预测单元可以是长方形预测单元。增加了预测单元种类，可以更好地提高预测的精度，降低图像残差数据。

2.2.3 插值像素精度

插值像素的精度越高，图像还原的质量越好。VP9 的图像插值精度达到了 1/8 像素精度，并且配备了三种不同模式的 8 阶插值滤波器：常规插值滤波器、锐化插值滤波器和平滑插值滤波器。

2.2.4 熵编码方案

VP9 采用的熵编码方案是 VP8 采用的 BOOL-CODER。该编码方案可以对数据进行前向和后向自适应，提高熵编码的数据压缩率。

2.2.5 分段编码

VP9 增了分段编码，将具有相同特点的超级块组合起来形成一个段。这种特点能够在编码时降低编码的数据量，增加编码速度。

3 HEVC、VP9以及H.264编码技术比较

3.1 HEVC 同 H.264 编码技术比较

HEVC 采用了更大的宏块，最大支持 64×64 像素的宏块，而 H.264 最大支持的宏块为 16×16 ；HEVC 的帧内预测方式有 35 种，而 H.264 只有 10 种预测方式；HEVC 支持时域 + 空域的向量预测方式，而 H.264 只支持空域的向量预测方式；HEVC 支持 8 阶的插值滤波器，而 H.264 只支持 6 阶插值滤波器；HEVC 支持 $8 \times 8/16 \times 16/32 \times 32$ 的 DCT 变换，而 H.264 只支持 $4 \times 4/8 \times 8$ 的 DCT 变换。

3.2 HEVC 同 VP9 编码技术比较

两者的相同点是：相同的二叉树编码块划分机制；相同的混合编码方式；插值滤波器的阶数相同；都是用高阶的 DCT 变换；都使用前后自适应的熵编码方案。

两者的不同点是：HEVC 使用 35 种帧内预测方式，而 VP9 使用 10 种帧内预测方式；HEVC 的帧内预测只能使用正方形编码单元，而 VP9 可以使用长方形编码单元；HEVC 的后期处理添加了 SAO 技术，而 VP9 后期处理器只有去块滤波器；HEVC 定义了可以独立进行编码和解码的机制，VP9 只定义了并行解码机制。

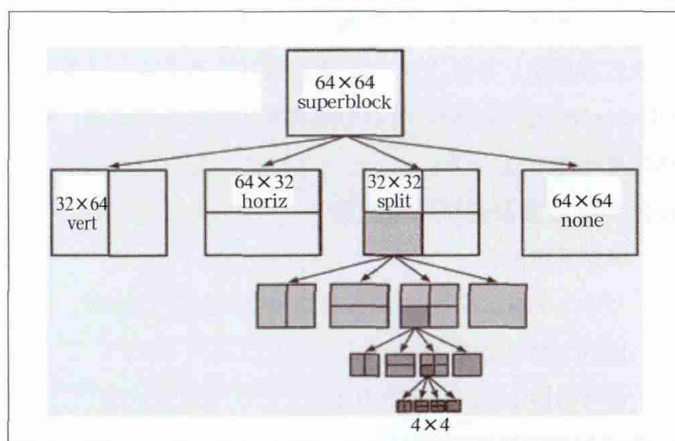


图3 VP9的超级块划分

关打到运动补偿的输出口。然后，补偿图像将同原始图像做相减处理获取残差，并转入第4步。此时的运动估计和运动补偿信息将会传输到 CABAC 进行熵编码。

6. 重复 1~5 步。对于帧内预测和帧间预测，编码控制器会控制开关的切换。

2 VP9编码技术介绍

2.1 VP9 简介

VP9 是由谷歌公司开发的开放格式、无使用授权费的视频压缩标准。VP9 的目标之一是相同质量下较 VP8 提高 50% 的压缩率。而另一个目标就是争取能在压缩效率上超越 HEVC。

2.2 VP9 编码技术亮点

2.2.1 超级宏块

VP9 的编码宏块称为超级宏块，超级宏块比以往宏块更大，它的范围从 8×8 到 64×64 ，如图 3 所示。

2.2.2 帧内预测

表 1 编码器参数设置

x264 编码器参数	x265 编码器参数	VP9 编码器参数
<pre>--bitrate 1M 6M --preset medium/ultrafast --keyint infinite --profile high --pass 2 --threads 0 --keyint 250 --fps 25 --min-keyint 25 --qpmin 10 --qpmax 51 --vbv-maxrate 0 --no-psnr</pre>	<pre>--threads 0 --preset medium/ultrafast --wpp --ctu 64 tu-intra-depth 1 - tu-inter-depth 1 --merange 57 --no-early-skip --key-int 250 --min-keyint 0 --bframes 4 --b-pyramid 1 --bitrate 1M 6M --qp 32 --lft --sao --vui --fps 25</pre>	<pre>--cpu_used 5 --quality good --bitrate 1M 6M --threads 0 --end-usage 0 --auto-alt-ref 0 --error-resilient 0 --profile 0 --sharpness 0 - noise-sensitivity 0 --min-q 0 --max-q 60</pre>

H.265/MPEG-HEVC 编

码器 :x265 是免费开放的开源 HEVC 的编码库, 同 x264 编码器是同一组织开发。x265 允许所有用户在 GNU GPL 2 授权协议下使用。基于 x264 的优秀表现, 我们将 x265 作为 HEVC 的代表性编码器, 选用最新的 1.1 版本。同时, 在编码速

度和 CPU 占用率测试中, 也选用了商用 HEVC 编码器的 2.0 和 3.0 版本作为辅助测试。

VP9 编码器 :VP9 编码器是谷歌于 2013 年 7 月 12 日发布的一款开源编码器。它隶属于 LIBVPX, 是一款开源、无授权的编码器。谷歌作为 VP9 编码器的发布企业, 其发布的 Libvpx-vp9 是 VP9 编码器中的最具有代表性的编码器, 我们选用最新的 1.3.0 版本。

4.2 参数设置及测试环境配置

测试环境配置 :

CPU :Intel i5 3470 , 四核心四线程, 主频 3.2GHz

内存 :4G DDR3 1600

操作系统 :windows 7 64bit

4.3 测试标准及测试素材

编码器的编码质量通过计算 PSNR 进行评判。参数设置如表 1 所示。

PSNR (峰值信噪比) 是一种评价图像的客观标准, 单位为 dB(分贝)。通常的图像一般在 30~40dB 之间, PSNR 越高代表编码图像质量越好。

测试素材选用的是 5 段 1920×1080 分辨率的视频序列和 3 段 720×576 分辨率的视频序列, 每段视频序列的帧率都为 25 帧。为了节省测试时间, 每个测试序列只编码 200 帧, 也就是 8 秒的时间长度。5 段 1920×1080 视频序列分别是美国歌舞、中国篮球、军队战斗、休闲时光和新闻宣传片, 3 段 720×576 视频分别是动物园、新闻、电影。

采用的码流比较基准 :实验对各个视频序列 1M 到 6M 码流编码后的 PSNR 做了测试。1920×1080 测试序列以编码码流 5M 为基准, 720×576 的测试序列则以编码码流 2M 为基准。因为素材同素材之间的测试数据会有起伏, 我们选择多个测试素材结果的平均值来得出最终结论。

4.4 测试工具

VQMT (Video Quality Measurement Tool) 全名为视频质

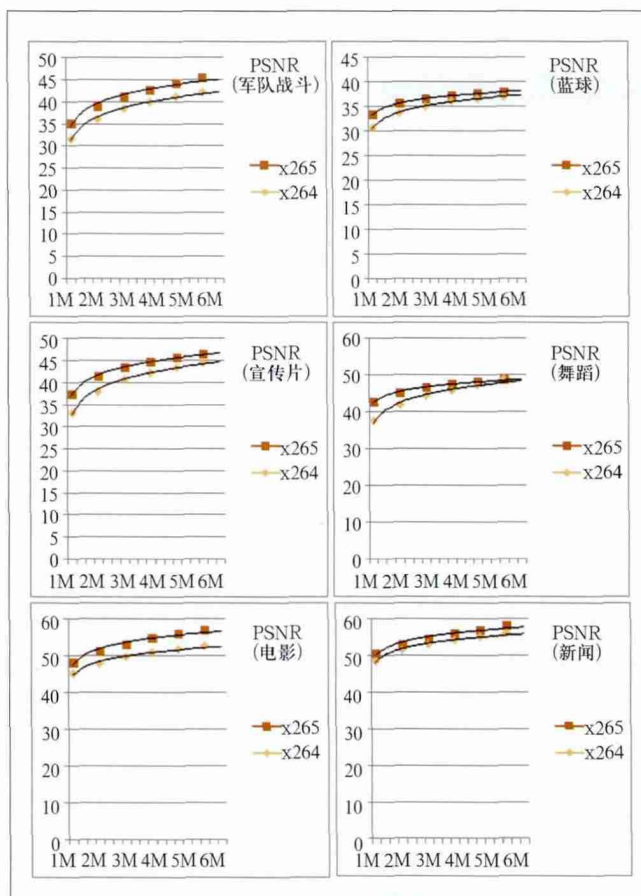


图 4 HEVC 和 H.264 的默认编码速度 (medium) 下的多序列 PSNR

4 测试环境

4.1 编码器选择

H.264/MPEG-AVC 编码器 : 对于 H.264/MPEG-AVC 标准的测试, 选用了开源的 x264, 使用 2014 年 4 月 22 日 x264 官网发布的最新版本。x264 始于 2003 年, 来自开源社区, 它是一款高效、高速并且可靠的视频编码器。由于它在编码效率和计算复杂度的权衡方面非常优秀, 很快在网络中得到了普及。现在, x264 是互联网世界上最受欢迎、普及最广的编码器之一。

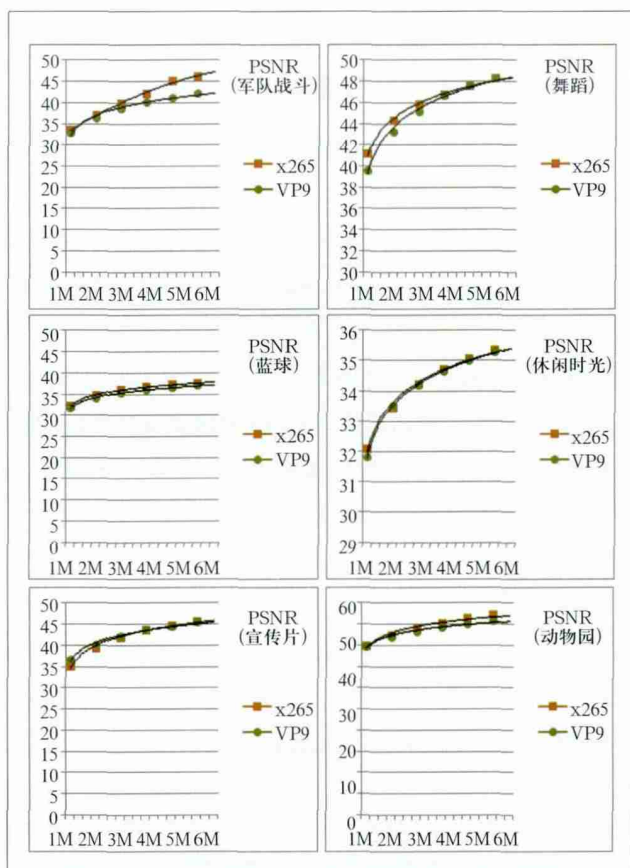


图5 HEVC和VP9在最高编码速度(ultrafast)下的多序列PSNR

表2 同等PSNR下HEVC较H.264的码流节省

测试序列	HEVC 码流	H.264 码流	码流节省
军队战斗	2.8M	5M	44%
中国篮球	3M	5M	40%
宣传片	2.8M	5M	44%
舞蹈	3.5M	5M	30%
电影	1M	2M	50%
新闻	1.5M	2M	25%
平均节省	38.83%		

表3 同等PSNR下HEVC较VP9的码流节省

测试序列	HEVC 码流	VP9 码流	码流节省
军队战斗	3.3M	5M	34%
中国篮球	4M	5M	20%
宣传片	5M	5M	0%
舞蹈	4.7M	5M	6%
休息	4.8M	5M	4%
动物园	1.8M	2M	10%
平均节省	12.3%		

表4 HEVC, VP9 以及 H.264 的码流比较

编码器	H.264	VP9	HEVC
H.264		+42.85%	+63%
VP9	-30%		+14%
HEVC	-38.83%	-12.3%	

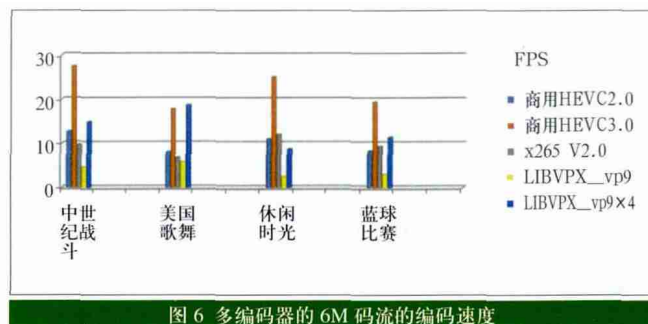


图6 多编码器的6M码流的编码速度

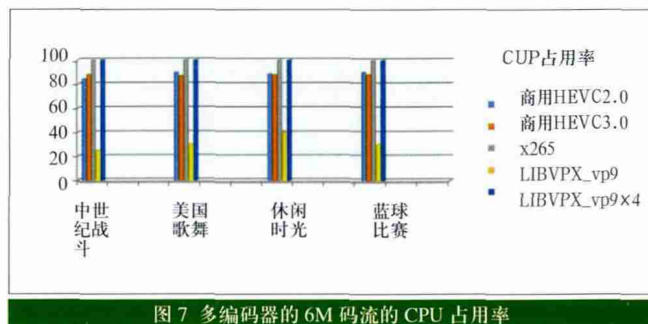


图7 多编码器的6M码流的CPU占用率

量评估工具,是第三方组织基于OPENCV开源库编写的图像测试程序,可以支持YUV420、YUV444和YUV422等多种原始图像序列合适。它是一款免费的视频质量评测软件,能够测试包括PSNR、SSIM等多项主要视频质量指标,而且运行方便,简单易用。

5 测试结果

5.1 HEVC同H.264的测试结果

HEVC同H.264的比较,我们选择在默认速度下进行比较,原因是:x265和x264是同源的编码器,因此在默认下的参数也最为相近;x264在最高速度下的编码质量远远落后于其默认速度下的编码质量,无法反映出其真正的编码质量。基于以上两个原因,我们选择两种编码器的默认速度进行编码测试,多个序列的测试结果如图4所示。

六个视频序列的测试结果如表2所示,表明在同等PSNR的条件下,HEVC较H.264平均能够节省38.83%的码流。

5.2 HEVC同VP9的测试结果

HEVC和VP9属于不同源的编码器,它们在默认下的参数设置完全不同。为了尽量保证测试的公平性,我们选择它们最快的编码速度进行编码测试。如图5所示。

在同HEVC的比较中,VP9在图像质量上稍逊于HEVC。在同等PSNR的条件下,HEVC较VP9节省12.3%的码流。如表3所示。

5.3 三种编码器比较

从表4中可以看到,HEVC和VP9在数据压缩率上远远

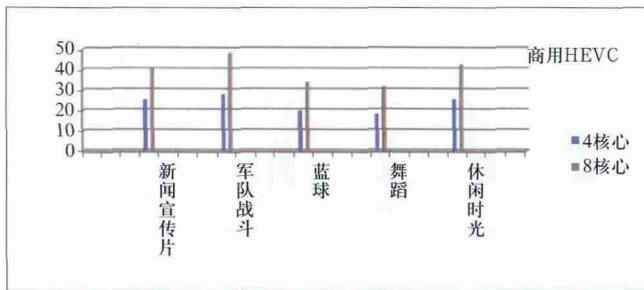


图 8 商用 HEVC 编码器 6M 实时编码速度 (FPS) 测试

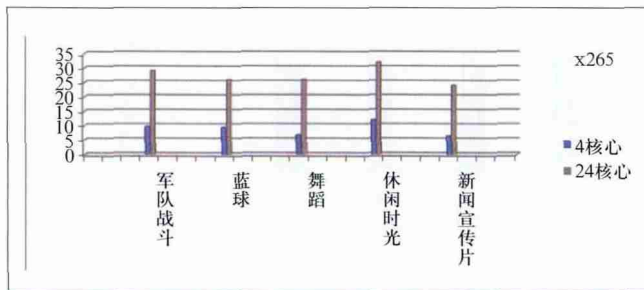


图 9 x265 编码器 6M 码流实时编码速度 (FPS) 测试

超过了 H.264，均达到 30% 以上的码流节省，其中 HEVC 较 H.264 节省了 38.83% 的码流，VP9 也节省了 30% 的码流。对于 VP9 来说，在视频压缩率上与 HEVC 大约有 14% 码流的差距。

5.4 6M 码流下编码速度比较

从图 7 中可以看出，商用 HEVC 编码器的编码速度是最快的。但是对于算法的比较来说，有价值的还是 x265 和 VP9 的编码速度比较。对于 VP9 来说，由于 VP9 没有并行编码机制，使用单进程的编码速度较 x265 差距很大，CPU 占用率仅有 25% 左右。为了发掘 VP9 的真实编码速度，所以同时开启了四个 VP9 编码器进程，CPU 占用率达到了 100%。这四个编码器同时编码同一视频序列，编码速度得到了极大地提升，平均速度达到了 x265 的编码速度 1.4 倍。对于 HEVC 来说，由于其具有非常完善的编码并行机制，CPU 占用率全部都是 100%。

5.5 HEVC 实时编码测试

为了测试 HEVC 的实时编码，我们使用了分别使用了实机 4 核心和虚拟机 8 核心及 24 核心两种 CPU 配置进行编码测试，它们的主频都是 3.4GHz，测试的码流选定在 6M 码流。如图 8 和图 9 所示。

通过以上测试，可以看出商用 HEVC 编码器在使用 8 核心的 CPU 编码的条件下，可以达到 30fps 的实时编码。而对于 x265 来说，因为编码速度本就慢于商用编码器，所以需要更多的 CPU 来达到实时编码。最终，当使用了 24 核心

的 CPU 后，x265 编码器基本可以达到 25fps 的实时编码。

6 结论

HEVC 是 H.264 的下一代视频编码标准，而 VP9 是 VP8 的后继者。通过上述的比较，可以得到如下结论：无论是 HEVC 还是 VP9 在数据压缩率方面均超过了 H.264，完全可以取代 H.264 成为广泛普及的视频标准。VP9 在视频压缩率方面稍逊 HEVC，这种差距在算法中可见端倪：VP9 的帧内预测方向少于 HEVC；后期处理技术中缺少像 SAO 一样的对提高 PSNR 十分有用的滤波器；VP9 的熵编码方案 BOOL-CODER 也稍逊于 HEVC 的 CABAC 熵编码方案；VP9 缺少 B 帧，也会对压缩率产生一定的影响。但是，VP9 由于具有无使用授权费，编码速度可以大幅提升等特点，得到了大量厂商的支持。HEVC 依然保持了 H.26X 系列编码器在数据压缩率方面的优势，应该说在数据压缩的每个步骤都得到了十分完美的处理。基于以上论述，我们认为未来的 VP9 同 HEVC 将会得到广泛的普及和应用。RTBE

参考文献

- [1] G. J. Sullivan, J. Ohm, W. Han, T. Wiegand, "Overview of the High Efficiency Video Coding," in IEEE TCSVT, vol. 22, no. 12, pp. 1649-1668, 2012.
- [2] B. M. T. Pourazad, C. Dautre, M. Azimi, P. Nasiopoulos, "HEVC: The New Gold Standard for Video Compression: How Does HEVC Compare with H.264/AVC?" in IEEE Consumer Electronics Magazine, pp. 36-46, 2012.
- [3] A. Grange, H. Alvestrand, A VP9 Bitstream Overview (Internet-Draft), Google, August 2013.
- [4] Debargha Mukherjee, A Technical Overview of VP9: The latest royalty-free video codec from Google, Google, 2013.
- [5] B. Bross, W.-J. Han, J.-R. Ohm, G. J. Sullivan, and T. Wiegand, High Efficiency Video Coding (HEVC) Text Specification Draft 9, Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC) of ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, document JCTVC-K1003, Shanghai, China, Oct. 2012.

第一作者介绍：

何海东，1977 年出生，男，北京大学计算机专业硕士，高级工程师，从事广播电视与音视频相关研究开发工作 15 年，曾获得国家科技进步二等奖，现就职于北京正奇联讯科技有限公司。