

基于应用的转码过程中的 QP 映射

石磊 楼剑 虞露

(浙江大学信息与通信工程研究所, 杭州 310027)

摘要 主要论述了在 H. 264 或者 AVS(信息技术先进音视频编码系列标准)到 MPEG-2 转码过程中的 QP (quantization parameter) 映射问题。通过分析理论无失真的映射曲线(以下简称理论曲线)的数据保真和码率特性,发现了理论曲线和实际应用(高质量视频应用,有限带宽网络视频传输,质量自适应调整的视频点播)的不适应之处,基于对上述不同应用的具体分析,得到了一系列对应于应用的 QP 映射曲线,可以很好地满足相对应的应用要求。同时提出了利用这些 H. 264/AVS 到 MPEG-2 转码过程中的 QP 映射曲线的几点建议。

关键词 MPEG-2 H. 264 AVS 转码 量化

中图分类号: TP391 TN919. 81 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2005)06-0779-06

Application Based QP Mapping during Transcoding

SHI Lei, LOU Jian, YU Lu

(Institute of Information & Communication Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract This paper presents the issue of QP mapping in H. 264 or AVS to MPEG-2 transcoding process. The theoretic QP mapping curve is deduced by analysis of H. 264/AVS and MPEG-2 quantization schemes. Then, the mismatching between the theoretic curve and practical application is found. Based on the requirements of different applications, such as high fidelity video application, video transmission on limited bandwidth networks and video on demand with adaptive quality adjustment, a series of QP mapping curves is obtained by experiments and analysis. These curves are customized for predefined parameters, and they can be easily modified to meet specific applications.

Keywords MPEG-2, H. 264, AVS, transcoding, quantization

1 引言

数字视频技术在过去的十几年中获得了广泛的应用,这些应用得以实现的关键就是数字视频编解码标准的制定。目前已有的先进音视频编解码标准有 H. 264 以及 AVS 等。但是,我国目前的数字电视广播都是基于 MPEG-2 标准的,因此有线电视客户端为了接受数字电视而配置的机顶盒都是针对于 MPEG-2 解码的。如果解决不了格式兼容方面的问题,则无法得到市场的认可,先进的技术也无法充分发挥。因此,在推广的过程中,必然存在一个终端设

备由 MPEG-2 到 H. 264 或 AVS 的过渡期。在这个过渡期内,必须实现 H. 264/AVS 到 MPEG-2 的转码,以达到和各种 MPEG-2 终端的兼容。同时由于 H. 264/AVS 编码的高效性,相对于 MPEG-2,采用 H. 264/AVS 编码可以节省一半以上的无线频谱和有信信道资源,而在家庭网络中利用软件转码则能最大限度地降低开销。

由于传统的视频编解码标准使用的都是 DCT (discrete cosine transform) 变换,如 MPEG-1/2/4,因此当码率不变时,在不同码流格式之间转换可以直接复制量化后的 DCT 系数。当需要改变码率以适应网络带宽的变化时,则需要重新进行重新量化和反量

基金项目:国家自然科学基金重点项目(60333020)

收稿日期:2004-08-17; 改回日期:2004-10-21

第一作者简介:石磊(1980 ~),男,浙江大学信息与通信工程专业硕士研究生。主要研究领域为视频压缩编码、Dsp 芯片的视频应用。

E-mail:horatio_222@163.com

化操作。关于这方面问题的解决方法有:区域阈值算法^[1],该算法只使用 QP (quantization parameter) 或者两倍 QP 进行重新量化;动态跳帧和重新量化的算法^[2];有选择的重新量化算法^[3],该算法去掉了一些性能特别差的 QP 点。

然而,上述算法并不完全适用于 H. 264/AVS 到 MPEG-2 的转码过程中。这是因为 H. 264/AVS 采用了不同于 MPEG-2 的量化策略,所以相同的 QP 值在不同的两个标准中代表着不同的量化程度。因此,需要采用新的 QP 映射方法才能得到较为满意的结果。此外,针对于不同应用的转码需要不同的 QP 映射方法,以满足相应的码率转换要求。灵活的 QP 映射方法能适用于高质量视频应用、质量自适应调整的视频点播、有限带宽网络视频传输等不同层次的需要。一般地,高质量视频应用要求最大可能地保持原始图像的质量;质量自适应调整的视频点播要求较好的视觉效果和适中的码率;有限带宽网络视频传输则对码率的大小比较有严格的要求。

2 MPEG-2 和 H. 264/AVS 的量化原理

MPEG-2 和 H. 264/AVS 都是传统的基于混合编码框架的视频编解码标准。在此类标准中,量化是不可或缺的一部分。这是因为变换编码在理论上是无损的,而在视频编码和图像编码系统中,变换后的量化处理是有损编码,也是提高数据压缩率的关键技术之一。在码率可控的应用中,合理的量化策略是提供各种码率视频流的必要条件。

量化过程即是 将变换后的数据 $D(i, j)$ 转化为 $Q_D(i, j)$, 如下:

$$Q_D(i, j) = \frac{D(i, j)}{Q_{QP}(i, j)} \quad 0 \leq i, j \leq 7 \quad (1)$$

其中, Q_{QP} 是以 QP 为参数的量化矩阵。而反量化的实现就是

$$D(i, j) = Q_D(i, j) \times Q_{QP}(i, j) \quad (2)$$

在 MPEG-2 标准中,采用了最简洁的量化策略^[4],即:

$$Q_{QP}(i, j) = 2 \times QP(i, j) \quad (3)$$

MPEG-2 的量化方法简单,且实现复杂度较低,但是根据实际的 RD 曲线可以得到,PSNR 值和码率有着近似于指数的分布关系,在低量化高码率的时候,如 QP = 1 或 2 时,码率随着 QP 的增长而迅速增

长,非常不利于码率控制的调整精度^[5]。

如果将量化步长调整为指数分布,就使得 PSNR 值和量化参数 QP 有着近似于线性的关系。在 H. 264/AVS 中,就采纳了这种量化方法^[5,6],把指数式分布引入量化系数矩阵中,以补偿 QP 增长和比特率增长之间的非线性。其原理近似如下

$$Q_{QP}(i, j) = 2^{QP(i, j)/8} \quad (4)$$

采用这种方法可以使得 QP 的增长和码率的增长呈线性关系,从而码率控制算法能更精细地选取编码比特数,但是这也就引入了 MPEG-2 和 H. 264/AVS 量化策略的不兼容性。在两种标准中,相同的 QP 值所代表的量化程度却完全不一样,所以在 H. 264/AVS 到 MPEG-2 转码过程中,QP 映射的研究具有较高的实用性。

3 H. 264/AVS 到 MPEG-2 转码中的 QP 映射原理

根据式(3)和式(4),可以推导得出这两种量化方法中,相应 QP 之间的理论对应关系为

$$QP_{MPEG-2} = \frac{2^{QP_{AVS}/8}}{2} \quad (5)$$

由于 H. 264/AVS 的 QP 范围是 0 ~ 63,而 MPEG-2 的 QP 范围是 1 ~ 31,则根据式(5),不难得到 H. 264/AVS 的量化范围要大于 MPEG-2。表 1 给出了根据式(5)所得到的一些 QP 映射关系。

表 1 理论的 H. 264/AVS 与 MPEG-2 的 QP 映射关系
Tab. 1 Theoretical QP mapping between H. 264/AVS and MPEG-2

H. 264/AVS QP	1	...	8	...	16	...	24	...	32	...	48	...	63
MPEG-2 QP	1	1	1	...	2	...	4	...	8	...	31	31	31

使用上述的映射策略,使得转码过程中可以在理论上保证最小的数据失真,但同时它也使得转码后的码流具有较高的码率。一般地,采用 H. 264/AVS 标准压缩得到的视频流压缩率是 MPEG-2 的 2.5 倍,因此转码后的码率平均升高为转码前的 2.5 倍。在高质量视频应用中,码率大幅度地上升是不可避免的。但是对于一般的应用,比如在质量自适应调整的视频点播服务中,完全可以使用较大的 MPEG-2 QP 来降低转码后码流的码率,同时保证可以接受的质量。

首先,对于高质量的 H. 264/AVS 码流(采用较小的 QP 编码),码流的主观质量是非常好的,使

用理论QP映射关系可以得到较高的转码后图像质量,但是转码后的码率会是原始H.264/AVS码流的2~3倍,这将使得许多的应用由于带宽的限制而无法被接受。但是,如果将量化程度增加而换取较小的码率,则可以得到可以接受的图像质量(肉眼感觉和理论映射相差无几)和可以接受的较低码率。

与之相对应的是,对于低质量的H.264/AVS码流(采用较大的QP编码),图像质量原本就比较差,视频信息丢失的比较多。虽然在理论上,理论映射关系应该是转码中MPEG-2QP的上限,但是考虑到转码过程中会有一些由于变换和量化的精度丢失所产生的误差,必须把MPEG-2QP设的更小才能补偿转码中的数据损失。

出于对不同应用特性的分析,利用转码前后图像间的PSNR值作为衡量依据,分析并导出与之相对应的QP映射策略。

PSNR值的概念(本文使用的实验平台是AVS,但同样适用于H.264平台)。

(1) 转码PSNR值为C 指转码前后的PSNR值,即转码前AVS解码器解码重建图像和转码后MPEG-2解码器解码重建图像之间的PSNR值为常数C。

(2) 转码两个PSNR值之和为C 即上述的转码PSNR值与原始图像(AVS编码源)和转码后MPEG-2解码器解码重建图像之间的PSNR值之和为常数C。

3.1 有限带宽网络视频传输

该应用通常有比较高的带宽限制,同时图像的质量也是非常重要的,但相比较而言可以适当放弃而满足带宽的要求。在这种情况下,一般使用转码PSNR值为常数C作为评判依据进行衡量,即转码前AVS解码器解码重建图像和转码后MPEG-2解码器解码重建图像之间的PSNR值为C,由于带宽较小,C不宜过高,一般取一个适中的数,例如38dB。这种映射策略保证了转码后能得到适中的码率,同时图像质量在总体上是接受的(图1)。

3.2 高质量视频应用

该应用追求对图像细节的保真度,要求图像尽可能地清晰和最小的失真度,从而转码PSNR值必须非常高。由于这类服务的应用环境一般是基于局域网,对视频流的码率不是非常敏感。因此,可以利

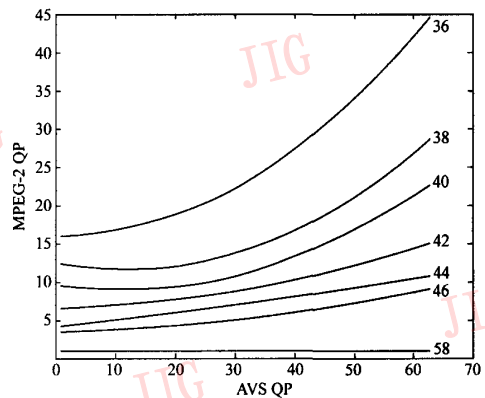


图1 转码前后图像间的PSNR值为常数的曲线族

Fig. 1 Curves with constant transcoding PSNR

用转码PSNR值为常数C(C取一个较高的常数)作为评判依据进行衡量,例如44dB。这种映射策略能提供相对较好的主客观质量,但码率也相应地大幅度提高(见图1)。

3.3 质量自适应调整的视频点播

对于此类业务,往往希望能采用一种比较“智能”的映射方法:在原始码流质量较好的情况下,适当增大转码过程中的MPEG-2QP值以降低转码PSNR值,从而减小码率,避免网络阻塞;而当原始码流的质量较差时,就采用尽量小的QP来减少转码中的质量损失,以尽量地保持图像质量;对于一般质量的码流,则不需要特殊的处理。为了达到这个目的,需要用另外一个参数来平衡转码PSNR值作为评判依据进行衡量。实验发现,转码后的MPEG-2解码器重建图像和原始图像(AVS编码前)的PSNR值能体现转码后码流的客观质量和部分主观质量(这里客观质量指绝对的PSNR的差异,部分主观质量指转码结果和原始图像的主观效果的差异,由于是与原始图像比较,因此它比转码PSNR更能体现主观效果差异,而转码PSNR值由于输入序列主观效果的不确定,可能很高,也可能很低,因此,在体现主观质量上效果不那么理想),所以可利用转码后图像和原始图像间的PSNR值以及转码PSNR值之和作为评判依据。一般地,将这两个PSNR值之和为某一常数C作为评判依据是一个比较理想的选择,它能自适应地对原始码流进行调节,从而达到期望的“图像质量不错,码率相对不太高”的要求,例如取C为75dB。不同的C所对应的曲线如图2所示。

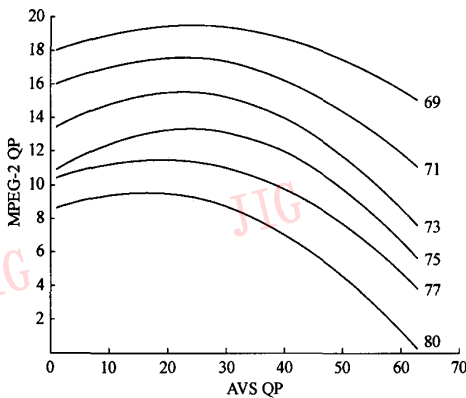


图 2 转码两个 PSNR 值之和为常数 C 的曲线族

Fig. 2 Curves with constant transcoding PSNR summation C

4 实验结果与数据分析

实验利用了 CCIR (720 × 576) 逐行扫描序列 BigShips、City、Crew、Jets 和 Raven 进行主客观测试与评价。图像是从高清晰图像序列中切割出来的。

在主观测试中,首先利用 AVS 标准编码这 5 个序列,选取符合实际应用中的 QP(27、30、35 和 40) 进行编码;转码过程中,分别设置 MPEG-2 中的 QP 为 1~31,目测转码后图像,寻找主观质量可以接受的相对应 MPEG-2 QP,结果如表 2 所示。

表 2 转码过程中主观测试选取的 MPEG-2 QP

Tab. 2 MPEG-2 QP in subjective transcoding test

序列	AVS QP							
	27		30		35		40	
	目测	理论	目测	理论	目测	理论	目测	理论
BigShips	9		10		8		6	
City	9		10		10		8	
Crew	10	5	11	7	11	10	10	16
Jet	8		11		10		10	
Raven	10		13		13		12	
平均	9.2		11		10.4		9.2	

实验结果表明,如果只是希望获得较好的主观质量,那么 MPEG-2 QP 取值为 8~11 是比较合适的。利用这个 QP 映射关系,可以自适应地得到相对良好的图像质量。当 AVS 编码的 QP 为 27 时,通过式(5)计算得出对应的 MPEG-2 QP 应为 5,但是如果把 QP 值增加到 8,得到的图像质量几乎没有降低(如图 3 所示),但是码率却从 2 103 kbits/s 降到了 1 395 kbits/s,降低了原来码率的 34%。

当 AVS 编码的 QP 为 40 的时候,通过式(5)计

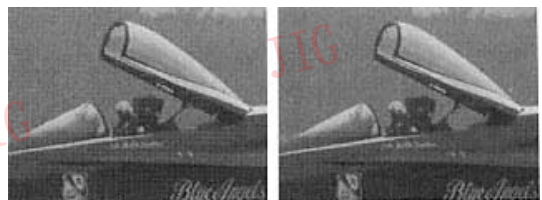
(a) MPEG-2 QP 为 5
码率为 2 103 kbits/s(b) MPEG-2 QP 为 8
码率为 1 395 kbits/s

图 3 AVS 编码 QP 为 27 时利用不同 MPEG-2 QP 进行转码的图像

Fig. 3 Transcoding with different MPEG-2 QP, source sequence coded with AVS QP 27

算得出对应的 MPEG-2 QP 值为 16,转码得到的图像质量比较差,但如果把 QP 减小到 10,可以察觉到图像质量有所改善,究其原因是降低转码中 MPEG-2 QP 值可以对低质量码流在转码中运算产生的精度误差进行一定的补偿,从而得到相对理想的图像(如图 4 所示)。

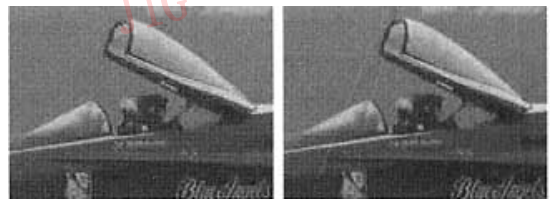
(a) MPEG-2 QP 为 16
码率为 566 kbits/s(b) MPEG-2 QP 为 10
码率为 777 kbits/s

图 4 AVS 编码 QP 为 40 时的利用不同 MPEG-2 QP 进行转码的图像

Fig. 4 Transcoding with different MPEG-2 QP, source sequence coded with AVS QP 40

为了进一步得到不同转码应用下的 QP 映射关系,可以在更大的范围内测试图像的属性。将 AVS 的 QP 范围设为 1~63,同时设定转码后 MPEG-2 的 QP 范围为 1~31。

针对于有限带宽网络视频传输应用,寻找转码前后图像间 PSNR 值为 38 dB 相对应的两种标准 QP 值,实验结果的点集(5 个序列的平均值)在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 的情况下通过一元二次曲线的 F 分布检测,回归是显著的,即我们有 95% 的把握认为这里可以用如下二次曲线来拟合 MPEG-2 和 AVS 之间的 QP 映射关系,

$$QP_{MPEG-2} = 0.0064 \times QP_{AVS}^2 - 0.1492 \times QP_{AVS} + 12.4896 \quad (6)$$

同样地,针对视频高质量视频应用,可以以转码前后图像间 PSNR 值是 44dB 为依据,寻找两种标准的 QP 映射关系如下:

$$QP_{MPEG-2} = 0.0002 \times QP_{AVS}^2 + 0.0933 \times QP_{AVS} + 3.9547 \quad (7)$$

对于质量自适应调整的视频点播这类应用,其评判依据被修改为转码两个 PSNR 值之和为 75 dB,得到的映射关系为

$$QP_{MPEG-2} = -0.0050 \times QP_{AVS}^2 + 0.2334 \times QP_{AVS} + 10.5469 \quad (8)$$

图 5 包含了针对不同应用的 QP 映射关系曲线以及理论推导得到的 QP 映射曲线。

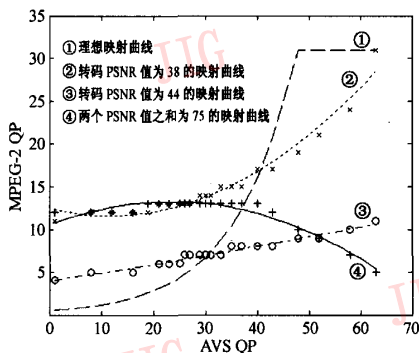


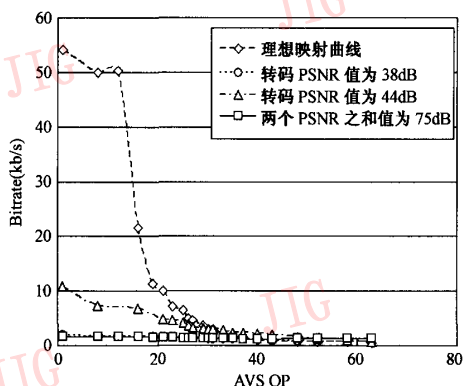
图 5 不同的 QP 映射曲线
Fig. 5 QP mapping curves

转码 PSNR 值为 38 的映射曲线(图 5 曲线②)可以在带宽要求比较严格,而图像质量可以牺牲的时候使用,比如拥挤的网络和无限通信等。这条曲

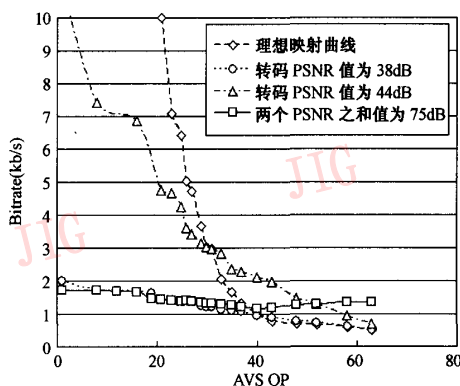
线的特点是当码率比较低时,能保证图像质量在大多数情况下可以接受。当然,如果转码后的码率相对于带宽还是太高,则可以向上平移这条曲线,但其代价是引入了更高的失真。

如果转码的应用是高质量视频应用或高质量存储,则该应用要求尽可能小的数据丢失,那么理想映射曲线(图 5 曲线①)和转码 PSNR 值为 44 的映射曲线(图 5 曲线③)的合并曲线则是最优的选择,即以这两条曲线的交点为基准,交点的左边采用理想映射曲线,交点的右边采用转码 PSNR 值为 44 的映射曲线。采用这样的曲线可以基本保证转码失真最小,同时在大 QP 的时候还会自动补偿转码的失真。如果考虑到小 QP 时理想映射曲线的码率实在太大了,那么全部采用转码 PSNR 值为 44 的映射曲线也是一个比较合适的选择。虽然它在 QP 较小时转码前后的 PSNR 数值不如理论曲线的高,但在主观质量上是几乎无法分辨的。

图 6 是各种 QP 映射方案的码率特性。可以发现,图 5 中两个 PSNR 值之和为 75 的映射曲线(曲线④)与主观测试得到的结果(表 2)比较接近,即在 AVS 编码 QP 在 27~40 的范围时,保持 MPEG-2 编码 QP 为 8~11 左右。这条曲线的形状和别的曲线不一样,它是上凸的,曲线的左端保证对高质量的码流也得到相对优良的转码结果,曲线的右端保证对低质量的码流进行转码精度补偿,中间上凸的部分则是对普通码流的一般性处理,它保证转码后的码流有比较适中的码率和图像质量。这条就是质量自适应调整应用所对应的映射曲线。



(a) 码率总体趋势



(b) 码率细节

图 6 各种 QP 映射方案的码率特性

Fig. 6 Bitrate characteristics of different QP mapping lines

当然,图 5 中的几条曲线都是针对一定的应用假设得到的,在实际应用中,也可以根据应用的实际情况下移或下移这几条曲线来满足应用的要求。具体概括如下:

(1) 如果要求转码过程中的数据高保真,可以使用理想映射曲线和转码 PSNR 值为 C (建议 44dB) 的映射曲线。只使用转码 PSNR 值为 C (建议 44dB) 的映射曲线是次优选择。

(2) 如果要求图像质量基本完好,码率不能太高,同时可以自适应地调整得到相对优良的主观效果和码率,可使用转码两个 PSNR 值之和为 C (建议 75dB) 的映射曲线。

(3) 如果对质量的要求不是很高,对码率又有较高的要求,可以使用转码 PSNR 值为 C (建议 38dB) 的映射曲线。

(4) 如果应用有特殊需要,可以上下平移以上 3 条曲线,以得到合适的转码效果。

(5) 此方法同样可以用于 H. 264 到 MPEG-2 的转码。

5 结 论

通过分析 MPEG-2 和 H. 264/AVS 的量化原理,推导得到了在 H. 264/AVS 到 MPEG-2 转码过程中的 QP 映射理论曲线。通过对不同转码应用的分析以及主观测试,利用测试数据拟合出针对于有限带

宽网络视频传输、高质量视频应用和质量自适应调整的视频点播几种应用的 QP 映射准则。更重要的是,给出了一种普遍意义上的 QP 映射关系推导方法,在不同的转码要求下,可以适当平移上述的几条曲线,以得到最为合适的转码效果。

参考文献 (References)

- 1 Kadono S, Etoh M, Yokoya N. Rationality of restricted re-quantization for efficient MPEG transcoding [J]. IEEE Image Processing, 2000, 1(9): 952 ~ 955.
- 2 Kwang-deok Seo, Soon-kak Kwon, Sug Ky Hong, et al. Dynamic bitrate reduction based on frame-skipping and requantization for MPEG-1 to MPEG-4 transcoder [J]. IEEE Circuits and Systems, 2003, 2(5): 372 ~ 375.
- 3 Sorial H, Lynch W E, Vincent A. Selective requantization for transcoding of MPEG compressed video [J]. IEEE Multimedia and Expo, 2000, 1(7): 217 ~ 220.
- 4 ISO/IEC 13818-2, Information Technology—Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio[S].
- 5 Lou Jian, Yu Lu. Improve on 8×8 integral transform quantization [R]. AVS-M1114, Beijing: AVS Audio Video coding Standard Workgroup of China, 2003. [楼剑, 虞露. 8×8 整数变换量化的改进 [R]. AVS-M1114, 北京: AVS 数字音视频编解码技术标准工作组, 2003.]
- 6 AVS video group. Information Technology—Advanced Audio Video Coding [R]. AVS-N1063, Beijing: AVS Audio Video coding Standard Workgroup of China, 2003. [AVS 视频专题组. 信息技术—先进音视频编码 [R]. AVS-N1063, 北京: AVS 数字音视频编解码技术标准工作组, 2003.]