



第1章-导言

大卫·R·布尔

显示更多

Outline | 共享 引用

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405906-1.00001-5>

获取权利和内容

摘要

本章对图像和视频压缩进行了描述性介绍。它首先考虑压缩意味着什么, 以及我们为什么需要它。然后, 它考察了当今世界视频压缩的主要驱动因素和市场。最后, 它考虑了视频压缩系统的要求, 并解释了为什么标准在支持互操作性方面如此重要。



关键词

图像压缩; 视频压缩; 视频应用程序; 视频市场; 视频编码标准; H.264/AVCH; .265/HEVC

视觉传播有着丰富的历史, 从最早的洞穴绘画, 到埃及象形文字, 纸张、可移动字体、摄影和电影的发明, 再到现代艺术、电视和“新媒体”。我们现在捕获、存储、访问、传输和接收视觉信息, 作为我们日常生活的一部分, 我们可以可视化几乎任何东西, 从遥远的恒星到最小的生物体。

视觉信息是所有广播、互联网和监控网络通信带宽的主要消费者。对视觉内容质量和数量的增加

的需求每天都在增加，这在可用网络容量和所需的视频比特率之间造成了重大的紧张关系。网络运营商、内容创建者和服务提供商都需要以最低的比特率传输最高质量的视频，这只能通过利用感知冗余来实现视频压缩。

本章对图像和视频压缩进行了描述性介绍。我们首先看看压缩意味着什么，为什么我们需要它。然后，我们检查当今世界视频压缩的主要驱动因素。最后，我们考虑了视频[压缩系统](#)的要求，并解释了为什么标准在支持互操作性方面如此重要。

1.1.沟通图片：压缩的需要

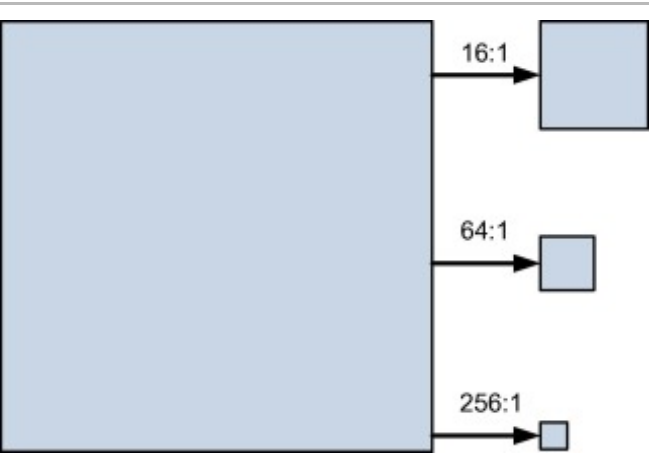
1.1.1。什么是压缩？

在研究为什么我们需要压缩之前，让我们考虑压缩的实际作用的根本问题。首先，让我们定义压缩：我们可以用许多方式表达这一点，稍后会更详细地介绍这些方法，但现在让我们简单地定义它为原始图像或视频文件的大小（或比特数）的比例 B_i 用于存储或传输的文件 B_o 。

$$CR = \frac{B_o}{B_i} \quad (\text{unitless}) \tag{1.1}$$

这个简单的定义忽略了许多关于实时方面或动态信道条件，但现在就足够了。

跳转到第1.1.2节，我们将看到典型的视频[压缩比](#)要求目前在100:1到200:1之间，随着新的、更苛刻格式的出现，这一要求增加到数百甚至数千到一个。如果我们考虑[图1.1](#)，我们可以从几何类比的角度看出这意味着什么——为了实现256:1的压缩比，我们必须将左边的大正方形替换为图右下角的小正方形。有一个常见的表达“你不能把一夸脱挤进一品脱的罐子里”，¹但我们可以看到[压缩过程](#)必须做到这一点。其实，以图中底部正方形为例，它必须将128夸脱挤进一品脱的罐子里！



[下载：下载全尺寸图像](#)

图1.1。压缩的几何解释。

那么这对图片意味着什么呢？考虑一个尺寸的小图像10 × 10样本（称为图片元素、*pels*或像

素），其中每个像素存储为单个字节以产生 10×10 字节值矩阵。压缩后（压缩比为100:1），我们预计这100个值将仅被一个字节取代，并且可以在不引入图像中任何明显失真的情况下实现这一点！起初这看起来很荒谬，但这就是我们需要实现的！实际上，这只是我们平均需要实现的——因为我们可以将100个数字简化为单个值的唯一方法是它们都相同（或完全符合其他已知模型）——例如，图像亮度恒定。

实际上，大多数图像不是恒定值，但它们在空间上高度相关。同样，大多数视频序列在时间上是相互关联的。正如我们将看到的，正是这种时空相关性的建模和利用，主要是通过转换和预测，使我们能够如此有效地压缩图像和视频。考虑一下你的蓝光光盘——大多数人认为这些非常优质。然而，它们的编码速度约为20 Mbps——与原版电影相比，压缩比约为60:1。

所以现在让我们更详细地看看为什么我们需要压缩图片。

1.1.2。为什么我们需要压缩？

图片格式和比特率要求

我们将在第4章中详细考虑图片格式，但在这里简要介绍它们，以了解图片压缩系统的要求。图片通常作为一系列颜色样本获得，通常基于红色、绿色和蓝色的组合。然后，它们通常转换为其他更方便的颜色空间，这些颜色空间将亮度单独编码为两个色差信号（见第4章）。

表1.1显示了一系列常见视频格式的典型采样参数。无需任何压缩，即使对于低分辨率格式，也可以看到比特率要求很高——远高于当今通信渠道通常提供的。请注意，色度信号以4:2:2和4:2:0标签所示的分辨率为低编码。另请注意，HDTV外壳包含两种格式（其他格式也可以这样做）；对于广播质量系统，4:2:2格式实际上更能代表原始比特率，因为这是大多数高质量相机产生的。另一方面，4:2:0格式通常用于压缩后的传输。

表1.1。常见数字视频格式的典型参数及其（未压缩）比特率要求。

格式	空间采样 ($V \times H$)	时间采样 (fps)	原始比特率 (30 fps, 8/10比特) (Mbps)
超高清电视 (4:2:0)	隆：7680 × 4320	24、25、30、50、	14,930*
(ITU-R 2020)	铬：3840 × 2160	60,120	
高清电视 (4:2:0)	隆：1920 × 1080	24、25、30、50、	933.1*
(ITU-R 709)	铬：960 × 540	60	
高清电视 (4:2:2)	隆：1920 × 1080	24、25、30、50、	1244.2*
		60	

(ITU-R 709)	铬：960 × 1080		
SDTV	隆：720 × 576	25, 30	149.3
(ITU-R 601)	铬：360 × 288		
到岸价	隆：352 × 288	10-30	36.5
	铬：176 × 144		
QCIF	隆：176 × 144	5-30	9.1
	铬：88 × 72		

超高清电视=超高清电视；HDTV=高清电视；SDTV=标准清晰度电视；CIF=通用中间格式；QCIF=季度CIF。

*

假设编码为10位。

最后，值得强调的是，情况实际上比表1.1所示更糟，特别是对于通常使用更高帧率和更长字长的新超高清电视（UHDTV）标准。例如，以每秒120帧（fps）的速度，每个样本的字长为10位，单个视频流的原始比特率增加到60 Gbps！如果使用三维或多视图格式，这种情况将进一步增加。

可用带宽

为了了解不等式的另一面，现在让我们检查典型通信信道中可用的带宽。表1.2描述了一些用于广播和移动应用程序的常见通信系统。然而，该表应非常谨慎地阅读，因为它提供了最佳操作条件下的理论最大比特率。这些在实践中很少实现。带宽限制在无线环境中特别严格，因为可用的无线电频谱有限，传输条件多变，数据丢失很常见。

表1.2。常用通信系统的理论带宽特性

通信系统	最大带宽
3G移动（UMTS）	384kbps
4G移动（4 × 4LTE）	326 Mbps
宽带（ADSL2）	24 Mbps
宽带（VDSL2）	100 Mbps
WiFi（IEEE 802.11n）	600 Mbps
地面电视（DVB-T2（8MHz））	50 Mbps

应用程序层的个人用户可用的比特率（毕竟是我们感兴趣的）通常会从表1.2中引用的数字大幅降低。有效吞吐量（有时称为**好吞吐量**）受到多种内部和外部因素的影响。这些包括：

- 由于链路层和应用程序层协议而导致的间接费用。
- 网络争用和流量控制。
- 网络拥塞和用户数量。
- 下载率和上传率不对称。
- 网络信道条件。
- 硬件和软件实现，不支持实现最佳吞吐量所需的所有功能。

特别是，随着信道条件的恶化，**调制和编码方案**需要越来越强大。这将降低光谱效率，增加编码开销，以保持给定的质量。随着信道的恶化，**再传输**的数量也不可避免地增加。例如，当信道条件要求调制和编码模式更改为1/2速率QPSK时，DVB-T2将从50 Mbps（256QAM @ 5/6码率）降至约7.5 Mbps。同样，对于802.11n来说，每个用户的现实带宽可以轻松减少到远低于10 Mbps。在撰写本文时，作者居住的典型宽带下载速度（在英国的半农村地区）是3Mbps。3G下载速度永远不会提供384kbps——更常见的是，它们将低于100kbps。总之，应用程序层的每个用户的有用带宽很少超过理论最大带宽的50%，更可能在10-20%的范围内。

在此基础上，让我们考虑一个简单的例子，它将表1.1中的原始比特率与现实的可用带宽联系起来。以使用DVB-T2以30帧/秒的速度传输为例，其中多路复用（每个频道）允许的**平均比特率**为15 Mbps。假设原始比特率为10位，原始比特率为4:2:2，约为1.244 Gbps，而实际可用的带宽决定了15 Mbps的比特率。这意味着压缩比约为83:1。

YouTube等下载网站通常支持高达6Mbps的高清1080p⁴格式，但更常见的是视频下载将使用360p或480p（640 × 480 pixels）格式为30 fps，比特率在0.5到1Mbps之间，使用H.264/AVC标准编码。在这种情况下，假设以4:2:0格式进行颜色子采样，原始比特率将是110.6 Mbps。正如我们所看到的，这是传输支持的比特率的100到200倍。

示例1.1超高清电视的压缩比

以4:2:2格式的原始视频（亮度信号**7680 × 4320**和两个色度信号**3840 × 4320**）每个样品10位，帧率为60 fps。如果该视频要通过平均带宽为15 Mbps的DVB-T2链接传输，请计算压缩比。

解决方案

4:2:2颜色子采样方法平均每个像素有两个10位样本（见第4章）。因此，以未压缩的形式，比特率计算如下：

$$\begin{aligned} R &= 7680 (H) \times 4320 (V) \times 2 (\text{samples / pixel}) \times 10 (\text{bits}) \times 60 \\ &\quad (\text{fps}) \\ &= 39,813,120,000 \text{ b/s} \end{aligned}$$

即原始比特率接近40 Gbps。假设这需要以与传统高清电视相同的带宽传输（即15 Mbps）那么需要2700:1的压缩比！

$$CR = \frac{39,813,120,000}{15,000,000} \approx 2700$$

希望本节在压缩需求方面令人信服。自第一次视频传输以来，用户在质量和访问方便性方面的期望与可用带宽之间存在紧张关系，这促进了编码和网络领域的积极研究。幸运的是，通信技术的进步与视频压缩的进步相仿，从而能够传输符合用户期望的良好（在大多数情况下，非常好）质量的视频。

在下一节中，我们将检查目前驱动视频压缩性能的应用程序，以及将来可能这样做的应用程序。

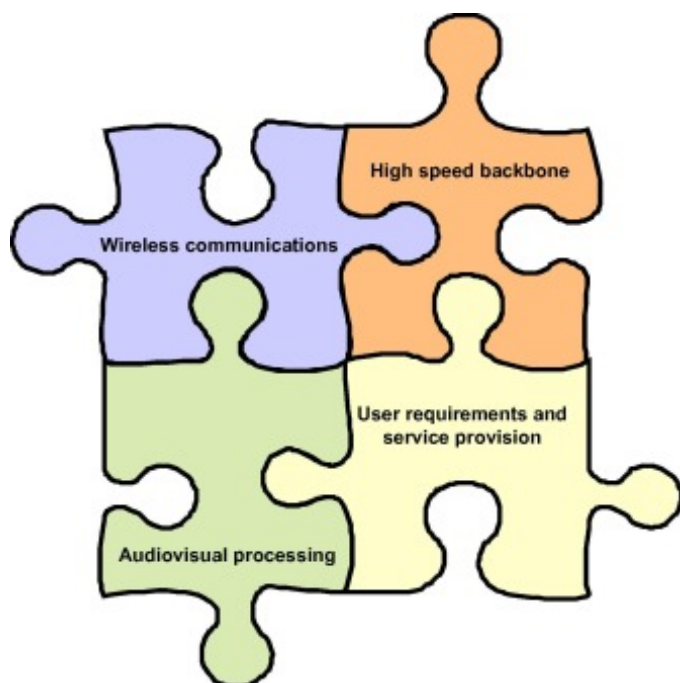
1.2。应用程序和驱动程序

1.2.1。通用驱动程序

到2020年，预计网络连接设备的数量将达到世界人口的1000倍；70亿人将有7万亿台连接设备[1]。思科预测[2]到2016年，这将导致全球互联网流量的1.3 ZB，其中80%以上是视频流量。视频技术爆炸的通用驱动因素如下：

- 对质量和可访问性期望更高的用户数量增加。
- 通过社交网络和下载网站，用户生成的图像、视频和多媒体无处不在。
- 使用分布式应用程序和环境（如云）的新工作方式的出现。
- 在提高生产率、安全和响应能力需求的驱动下，对快速和远程获取信息的需求。
- 电影、电视和流媒体的沉浸式互动娱乐形式。

为了满足新出现的可访问性和质量需求，视频通信解决方案需要高性能的核心网络、自适应[无线基础设施](#)、强大的数据传输协议和高效的内容表示。交付链中这些组件之间的相互作用可以被视为一个拼图（[图1.2](#)），其中复杂和动态变化的部件需要组合在一起。只有结合，它们才能为未来的交付挑战提供真正端到端的灵活和强大的解决方案。视频压缩是解决方案中的一个关键组成部分。



[下载：下载全尺寸图像](#)

图1.2。多媒体通信拼图。

1.2.2。应用程序驱动程序和市场

完全或部分依赖视频技术的应用程序范围巨大；因此，视频压缩技术市场正在迅速增长。下面提供了一些例子。

消费者视频

娱乐、个人沟通和社交互动是消费者视频的主要应用，这些应用将主导未来的视频景观。如前所述，思科预测[2]到2016年，所有互联网流量（1.3 ZB）的80%将是视频。根据最近一份Frost和Sullivan的报告，2013年销售的消费视频设备超过10亿台，其中59%是智能手机[3]。移动设备上内容的消费和共享大幅增加，这可能是未来几年的主要驱动力。NPD DisplaySearch的季度全球电视出货量和预测报告[4]预测2016年全球电视销售额将达到2.7亿。

预计2018年电影院放映机市场[5]为8亿美元，市场增长是由向数字电影技术和三维内容的可用性驱动的。该部门的主要驱动力是：

- 广播电视、数字电影院以及对更沉浸式内容的需求（3-D、多视图、高分辨率、帧率和动态范围）。
- 互联网流、点对点分销和个人[移动通信系统](#)。
- 社交网络、用户生成的内容和基于内容的搜索和检索。
- 家用无线内容分发系统和游戏。

商业、制造和自动化

计算机视觉和视觉通信在商业中发挥着越来越重要的作用。特别是，由于与航空旅行相关的感知安全威胁出现，对高质量视频会议和共享视觉内容的需求有所增加。同样，在自动化领域，基于视觉的系统在运输系统中发挥着关键作用，现在支撑着许多制造流程，通常要求存储或分发压缩视频内容。本案的驱动因素可以概括为：

- 视频会议、远程办公等互动服务。
- 宣传、广告、新闻和新闻。
- 设计、建模和模拟。
- 运输系统，包括车辆指导、援助和保护。
- 自动化制造和机器人系统。

安全和监视

在一个不确定的世界里，我们越来越意识到自己的安全和安保，视频监控在这方面发挥着越来越重要的作用。据估计，网络摄像机（非消费者）[6]的市场将在2017年增长到约45亿美元（2012年至2017年年增长19%），2017年出货量为2800万台。与此一致，同一来源预测2017年视频分析将增长更大，达到12亿美元。该部门的主要驱动力是：

- 监控公共场所和引人注目的事件。
- 国家安全。
- 战场态势感知、威胁检测、分类跟踪。
- 紧急服务，包括警察、救护车和消防。

医疗保健

医疗保健市场越来越依赖成像方法来帮助诊断和监测疾病状态的进展。CT和MRI等三维成像模式为每次扫描产生大量数据，这些数据需要尽可能高效地存储，同时保持最高质量。视频作为一种护理点技术，也变得越来越重要，用于监控自己家中的病人，以降低成本并限制住院人数。压缩的主要医疗保健驱动因素是：

- 护理点监测。
- 紧急服务和远程诊断。
- 远程手术。
- 医学成像。

显然，上述所有应用领域都需要在成本、复杂性、鲁棒性和性能之间做出相当大的权衡。这些问题将在下一节中进一步讨论。

1.3.压缩系统中的需求和权衡

1.3.1。数字解决方案的好处

我们生活在一个数字技术占主导地位的世界。在视频压缩的背景下，数字解决方案比模拟解决方案具有许多显著优势。这些包括：

- 易于编辑、增强、特效、转码和多代处理。
- 易于索引、元数据提取、注释搜索和检索。
- 内容保护、条件访问、版权管理和加密的便利性。
- 支持可扩展性和交互性。
- 源编码和信道编码可以分开，以更好地管理错误的速度、失真性和鲁棒性。
- 灵活支持3DTV和多视等新格式。

1.3.2。要求

视频压缩系统的基本要求很简单：我们希望以最低比特率获得最高质量。然而，除此之外，还可以列出许多其他可取的功能。这些包括：

- 鲁棒性到丢失：当信号通过容易出错的信道传输时，我们希望保持高质量。
- 可重构性和灵活性：支持跨时变通道或异构网络交付。
- 低复杂度：特别是低功耗便携式实现。
- 低延迟：支持交互。
- 身份验证和版权管理：支持条件访问、内容所有权验证或检测篡改。
- 标准化：支持互操作性。

1.3.3。权衡

在实践中，由于成本或复杂性限制，或由于带宽有限或有损信道，我们无法同时满足上述所有要求。因此，鉴于普遍存在的制约因素，我们必须妥协，做出提供最佳解决方案的设计权衡。可能的妥协领域包括：

- 有损压缩与无损压缩：理想情况下，与原始版本相比，我们根本不希望视频被扭曲。在实践中，这通常是不可能的，因为完全无损（可逆）压缩对可实现的压缩比施加了严重限制。因此，我们必须利用图像或视频信号中的任何冗余，使其以最小的感知失真提供所需的压缩。
- 速率与质量：为了在比特率和质量之间妥协，我们可以调整一些参数。这些包括：帧速率、空间分辨率（luma和chroma）、动态范围、预测模式和延迟。然而，这些参数对最终视频质量的影响在很大程度上取决于内容。例如，使用固定摄像头和完全静态的场景，帧率对感知质量的影响很小或没有影响。相比之下，对于高动态场景，低帧率会导致令人不快的颠簸。

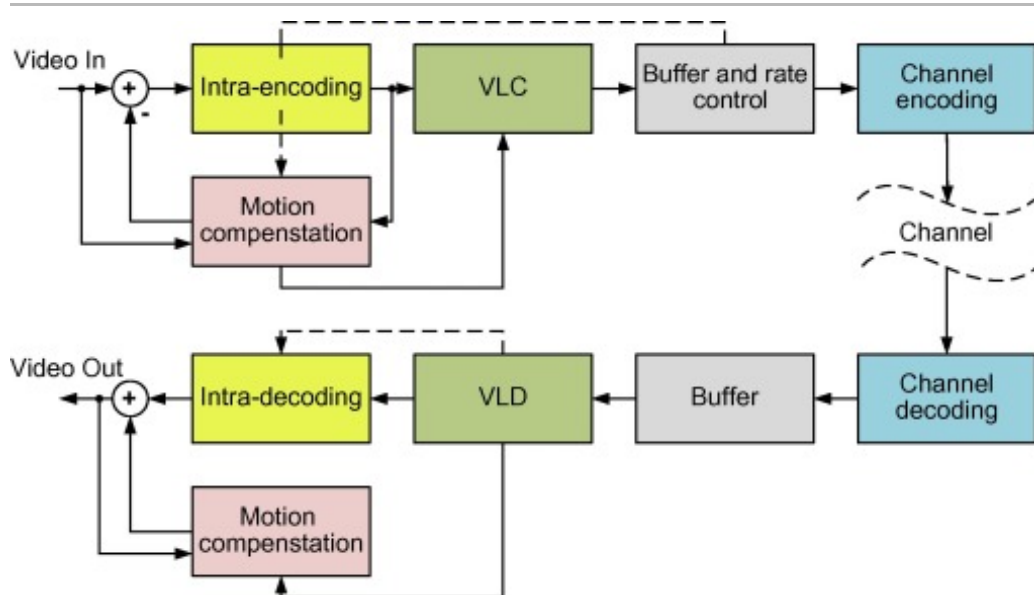
- **复杂性和功耗与成本和性能：**一般来说，更复杂的视频编码器将支持更高级的功能，从而产生比低复杂度版本更高的质量结果。然而，更复杂的架构总是更昂贵，通常会引入更多的延迟。此外，它们可能无法使用软件实现来实现，可能需要自定义硬件解决方案。
- **延迟与性能：**低延迟是交互式和会话应用程序中的关键。然而，如果应用程序在编码或解码时容忍延迟，那么可以在其他地方获得性能提升。例如，可以结合增加错误恢复力功能来重新传输传输过程中损坏的数据，或者，可以使用更多的参考帧来提高运动预测性能（见第8章和第9, [章第8](#) and [章第9章](#)）。

1.4。压缩的基本知识

视频[压缩系统](#)的简化框图如[图1.3](#)所示。这显示了输入数字信号（例如使用[表1.1](#)中的格式之一）正在编码、传输和解码。未显示可能的预处理阶段，如过滤、交错、分割、颜色子采样、[伽马校正](#)；这些都包含在[第4章](#)中。[第9章](#)提供了这种所谓的基于块的混合运动补偿视频编码器操作的完整描述。

1.4.1。静态图像编码

如果我们忽略标记为运动补偿的块，[图1.3](#)中的图表描述了静态图像编码系统，例如JPEG中使用的系统。帧内编码器（顾名思义）对图片进行编码，而无需参考任何其他帧。这通常通过基于变换的[装饰](#)利用空间冗余来实现（第5章、第6章和第9, [章第5](#), [章第6](#) and [章第9章](#)）和可变长度符号编码（VLC）（[第7章](#)）。然后，使用某些具有抗错能力的编码手段对图像进行传输的条件，使编码[比特流](#)对信道错误更健壮。[第11章](#)描述了实现错误恢复的方法。



[下载：下载全尺寸图像](#)

图1.3。简化高级视频压缩架构。

在解码器处执行逆操作，输出处重建原始图像。

1.4.2。编码视频

视频信号只是静止图像序列，通常以24、25、30、50或60 fps的速度获取。视频当然可以如上所述，使用帧内方法编码为一系列静止图像。然而，如果我们也利用大多数自然视频序列中存在的时间冗余，我们可以在编码效率方面取得显著提高。这是使用图1.3中由运动补偿块表示的帧间运动预测实现的。该块根据之前编码的帧的内容预测传入视频帧的结构（第8章）。帧内情况的编码仍在继续，但这一次帧内编码器块处理预测后剩余的低能**剩余信号**，而不是原始帧。

变长编码后，编码信号将在传输前缓冲。缓冲区用于将输出比特率与信道的瞬时容量相匹配，这通常使用速率控制算法来实现，该算法调整了第10章中所述的编码参数。

由于依赖于空间和时间预测，压缩视频比特流比静止图像更容易出现信道错误，受到时间和空间误差传播的影响。第11章描述了缓解这种情况、使比特流更健壮以及纠正或隐藏由此产生的**伪影**的方法。

1.4.3。测量视觉质量

归根结底，我们需要评估我们的编码系统有多好，而这绝对的仲裁者是**人类视觉系统**。正因为如此，**主观测试**方法成为新压缩系统设计和优化的重要组成部分。然而，此类测试非常耗时，不能用于实时速率失真优化。因此，在制定客观指标方面，对视频质量进行现实估计，已经报告了大量工作。这些与第10章的主观评估方法一起讨论。

1.5。对标准的需求

图像和视频格式以及**压缩方法**的标准化有助于视频技术的成功和普遍采用。我们在这里简要介绍了标准的动机和历史；第12章更详细地描述了最近标准的主要特征。

1.5.1。关于标准的一些基本事实

关于图像和视频压缩标准的几个基本事实首先值得一提：

1. 标准对于互操作性至关重要，使来自不同来源的材料能够通过广泛的网络进行处理和传输，或存储在广泛的设备上。这种互操作性为视频设备开辟了一个巨大的市场，它可以利用批量制造的优势，同时为用户提供尽可能广泛的服务。
2. 标准定义了**比特流**格式和解码过程，而不是（在大多数情况下）编码过程。图1.4说明了这一点。因此，符合标准的编码器是产生兼容的码流的编码器，符合标准的解码器是能够解码符合标准的码流的编码器，即标准指定了码流必须遵循的语法和相应的解码过程，而不是显式编码过程。

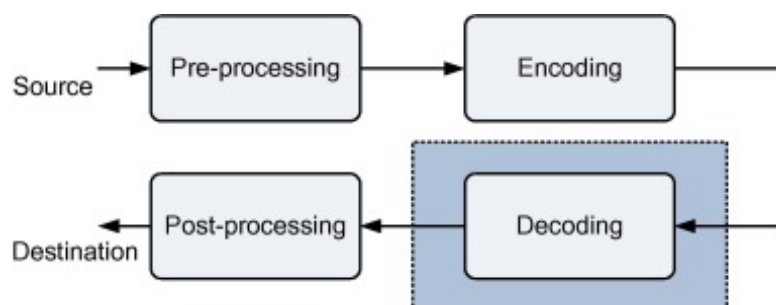


图1.4。标准化的范围。

- 3. 真正的挑战在于码流生成，即编码。这是制造商可以在编码效率、复杂性或其他属性方面区分其产品的地方。
- 4. 许多编码器符合标准，但有些比其他更好！合规性并不能保证绝对质量。

1.5.2。视频编码标准简史

视频编码标准的年表显示在图1.5中。这显示了国际标准组织（ISO）和国际电信联盟（ITU-T）是如何独立和合作在各种标准上合作的。近年来，大多数企业都受益于密切合作。

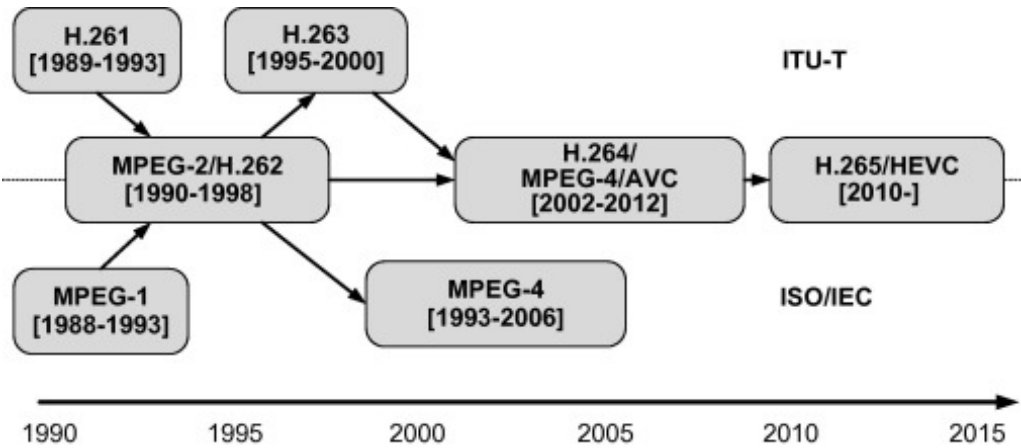


图1.5。1990年至今的视频编码标准年表。

CCITT（现为ITU-T）的SG.XV研究小组于1984年制作了第一个国际视频编码标准H.120。H.120分别以2.048 Mbps和1.544 Mbps的速度处理了625/50和525/60电视系统的视频会议应用程序。这个标准从未在商业上取得成功。H.261 [7] 随后在 1989 年推出了基于 $p \times 64 \text{ kbps}$ ($p = 1 \dots 30$) 针对 ISDN 会议应用程序。这是第一个使用变换（离散余弦变换（DCT））、时间微分脉冲编码调制（DPCM）和运动补偿组合的基于块的混合压缩算法。这种架构经受住了时间的考验，因为此后所有主要视频编码标准都基于它。

1988年，移动图片专家组（MPEG）成立，1992年以1.5 Mbs/s为目标提供数字存储媒体的视频编码算法。随后在1994年推出了MPEG-2[8]，专门针对新兴的数字视频广播市场。十多年来，MPEG-2被纳入所有机顶盒，在真正支持数字广播革命方面发挥了重要作用。20世纪90年代稍晚，ITU-T生产了H.263标准[9]。这解决了当时新兴的移动电话、互联网和会议市场。尽管移动应用程序起飞的速度比预期的要慢，但H.263在基于当时新互联网协议的会议、监控和应用程序

方面产生了重大影响。

MPEG-4[10]是一个雄心勃勃的项目，旨在引入基于对象以及或替代基于波形的方法的新方法。人们发现它太复杂了，实际上只使用了它的高级简单配置文件（ASP）。这为当时新兴的数码相机技术奠定了基础。

大约在同一时间，ITU-T开始在H.264上工作，并于2004年与ISO/IEC合作交付了其标准[11]。与MPEG-2改变数字广播格局一样，H.264/AVC也改变了移动通信和互联网视频领域。H.264/AVC是迄今为止最普遍的视频编码标准。最近于2013年，ISO和ITU-T的联合活动交付了HEVC标准[12]，[13]，[14]与H.264/AVC相比，**比特率**最高可**降低**50%。

有关编码标准的更多详细信息，请参阅**第12章**。

1.6.摘要

本章介绍了当今世界图像和视频压缩技术的上下文和主要驱动因素。我们看到，压缩之所以存在，一方面是因为用户对提高质量、移动性和沉浸式的需求和期望不断增加，另一方面是大多数**通信网络**的特点是**有限的带宽**和高流量之间的紧张关系。沟通图片是现代生活的重要组成部分，压缩是确保忠实、可靠和及时交付图片的基本要素。

我们研究了**压缩系统**的要求，发现这些要求代表了编码率、图像质量和实现复杂性之间的妥协。最后，提出了通用**压缩标准**的理由，因为这些标准对于实现跨网络、终端和存储设备的互操作性至关重要。**标准化过程**也是该领域持续研究的主要驱动力，并在行业和学术界之间创造富有成效的互动。

Recommended articles

Citing articles (0)

参考文献

- [1] <<http://www.wireless-world-research.org/fileadmin/sites/default/files/publications/-Outlook/Outlook4.pdf>>。
谷歌学术
- [2] 思科可视化网络索引：预测和方法，2011-16（2012-17年更新）。<http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns827/networking_solutions_sub_solution.html>。
谷歌学术
- [3] 全球消费视频设备市场分析：应用程序、质量和具有价格挑战的行业增长的关键变革性用户体验，弗罗斯特和沙利文报告NC68-01，2013年。
谷歌学术
- [4] 全球电视出货和预测报告，NPD DisplaySearch，2013年。
谷歌学术

- [5] 数字电影放映机：全球战略商业报告，全球行业分析师公司，2012年。
[谷歌学术](#)
- [6] 网络摄像机和视频分析市场——全球预测、趋势和分析——按技术、功能、分辨率、产品和服务类型、系统架构、垂直、应用程序和地理进行细分（2012-2017）报告
由[marketsandmarkets.com](#)，报告代码：SE 1238，2012年。
[谷歌学术](#)
- [7] 国际电信联盟-电信（ITU-T），建议H.261，用于视听服务的视频编解码器 $p \times 64 \text{ kbit/s}$
1990年版本1，1993年版本2。
[谷歌学术](#)
- [8] ITU-T和ISO/IEC JTC 1，移动图片和相关音频信息的通用编码——第2部分：视频，ITU-T Rec.H.262和ISO/IEC 13818-2（MPEG-2视频），1994年第1版。
[谷歌学术](#)
- [9] ITU-T，用于低比特率通信的视频编码，ITU-T Rec.H.263，版本1，1995版本2，1998版本3，2000年。
[谷歌学术](#)
- [10] ISO/IEC JTC 1，视听对象编码——第2部分：视觉，ISO/IEC 14496-2（MPEG-4 Visual），版本1，1999年，版本2，2000，版本3，2004年。
[谷歌学术](#)
- [11] ITU-T和ISO/IEC JTC 1，通用视听服务高级视频编码，ITU-T Rec.H.264和ISO/IEC 14496-10（AVC），版本1，2003年版本2，2004年版本3，4，2005版本5，2006年版本7，8，2007年版本9，10，11，2009年版本，12，13，2010年版本14，15，2011年版本，16，2012年。
[谷歌学术](#)
- [12] J.-R.欧姆，G.沙利文，H.施瓦茨，T.谭，T.维冈德
视频编码标准编码效率比较——包括高效视频编码（HEVC）
IEEE 视频技术电路和系统交易，22 (12) (2012)，p.1669-1684
[CrossRef](#) [在Scopus中查看记录](#) [谷歌学术](#)
- [13] G.沙利文，J.-R.哦，W.韩，T.维冈德
高效视频编码（HEVC）标准概述
IEEE 视频技术电路和系统交易，22 (12) (2012)，p.1648-1667
[谷歌学术](#)
- [14] ITU-T SG 16 WP 3和ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11 ISO/IEC 23008-2的视频编码联合协作小组（JCT-VC）和ITU-T建议H.265，高效视频编码（HEVC），2013年1月。
[谷歌学术](#)

¹ 一夸脱是体积单位（对于帝国或美国习惯单位）等于2品脱或四分之一加仑。

² 假设1080p24 4:2:2格式为每像素12位。更多关于格式和颜色子采样的[第四章](#)。

3 有关颜色空间和子采样的更多信息，请参阅[第4章](#)。

4 p代表渐进传播——有关更多信息，请参阅[第4章](#)。

版权所有©2014爱思唯尔有限公司。保留一切权利。



[关于ScienceDirect](#)

[远程访问](#)

[购物车](#)

[广告](#)

[联系和支持](#)

[条款和条件](#)

[隐私政策](#)



我们使用cookie来帮助提供和增强我们的服务，并定制内容和广告。继续即表示您同意**使用cookie**。

版权所有©2021爱思唯尔B.V.或其许可方或贡献者。ScienceDirect®是爱思唯尔B.V.的注册商标。

ScienceDirect®是爱思唯尔B.V.的注册商标。