

图像编码标准化的发展与现状

薛 猛, 刘 兵

(中国矿业大学 计算机科学与技术学院, 江苏 徐州 221008)

摘 要: 图像编码国际标准凝结了过去几十年这一领域的研究成果, 对多媒体技术的发展起到了巨大的推动作用。介绍了静态和运动图像压缩编码国际标准的发展过程中出现的一系列标准, 特别是 JPEG2000、MPEG4 以及 H. 26L, 总结了这些国际标准的压缩效果、应用场合及相应的压缩编码算法, 分析讨论了这些新标准的特点和优越性。从 JPEG 到 JPEG2000、从 MPEG-1 到 MPEG-4、从 H. 261 到 H. 26L, 标准化工作取得了长足的进展, 各种算法的竞争也越见激烈。

关键词: 图像编码; DCT; JPEG2000; MPEG4; H. 26L

中图分类号: TN919.81

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2007)06-0090-04

Development and Current Research of Image Coding Standardization

XUE Meng, LIU Bing

(Department of Computer Science and Technology, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Image coding international standardization binds the researchs in the passed some years in the field, and tremendous promotes the development of multimedia technology. Looks back and discusses a series of still and motion international standards appeared in the course of development, especially JPEG2000, MPEG4 and H. 26L. The compression effects, practical instances and the algorithms which were used in these standards were generalized, and the characteristics and superiorities of these new algorithms were analysed and discussed. From JPEG to JPEG2000, MPEG-1 to MPEG-4, H. 261 to H. 26L, all of this reflect the development of standardization, and the competition of all kinds of algorithms are more and more intenser.

Key words: image coding; DCT; JPEG2000; MPEG4; H. 26L

0 引言

数字图像的信息量大, 而且采用数字式通信制时占用的频带宽, 所以作为多媒体关键技术的图像压缩编码技术一直深为人们重视。为了促进多媒体技术的发展, 通过标准化实现多媒体技术在各国间的统一、合作、交流和应用, 20 世纪 90 年代, 国际标准化协会 (ISO)、国际电子学委员会 (IEC) 和国际电信协会 (ITU) 等国际组织领导制定了一些重要的国际标准 (如: JPEG, JPEG2000, MPEG1, 2, 4, 7, 21 和 H. 261, 3, 4 等, 文中将其总结在表 1, 表 2 中), 取得了辉煌的业绩, 特别是 MPEG-4 视频编码标准和 JPEG-2000 静态图像编码标准引进了基于对象 (内容) 等编码模式, 明显具有新的时代特征。

它们的制定既凝结了图像、视频编码在过去几十年研究成果的结晶, 又不断吸收新的研究成果和提出

新的研究内容, 对图像和多媒体事业的高速发展起到了巨大推动作用。

1 图像编码标准化的发展与现状

1.1 静态图像压缩技术标准

静态图像压缩的国际标准已涵盖了从二值、灰度到彩色的图像, 如表 1^[1]所示。对二值图像的压缩标准有 G3, G4 (G1/G2 为模拟标准) 和 JBIG。JBIG 由于采用了自适应技术, 其编码效率要比 G3 和 G4 高的多^[2]。对于灰度和彩色图像有 JPEG 和新出台的 JPEG2000。

JPEG 是联合摄影专家组 (Joint Photographic Expert Group) 为单帧彩色图像的压缩标准而制定的。采用这一标准可以将每像素 24bit 的彩色图像压缩至每像素 2bit 而仍然具有较好的图像质量。其核心算法为离散余弦变换 (Discrete Cosine Transform, DCT)。JPEG 针对不同的应用, 定义了 44 种操作模式, 但不具有通用性。针对 JPEG 标准的不足, 如: 低比特率压缩性能差 (特别当低于 0.25bpp 时)、不能在单一编码流

收稿日期: 2006-08-21

基金项目: 中国矿业大学青年科研基金资助项目 (OD4488)

作者简介: 薛 猛 (1979-), 男, 江苏邳州人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为多媒体技术、图像处理、计算机图形学。

中提供较好的无损和有损压缩、压缩算法不支持大于 64k×64k 的图像以及在噪声环境中传送能力差等, ISO/IEC JTC1 SC29 第一工作组在 1997 年就提出了一个新的工作项目,即 JPEG2000。

表 1 静态图像压缩编码的国际标准

标准	压缩效果	应用场合	采用的主要编码技术
二值图像数字标准 G3	1 分钟/A4	数字传真机	调制前先压缩、1-或 2-D 游程编码
二值图像数字标准 G4	3 秒/A4	数字传真机	G3 简化,只采用 2-D 游程编码
半色调数字标准 JBIG-1	8 倍 G4	数字传真机	自适应跟踪、算术编码、渐进传输与重建
半色调数字标准 JBIG-2	高于 JBIG-1	数字传真机	基于模型的编码、字典搜索、软模板匹配等技术
连续色调静态图像压缩编码 JPEG	压缩比 20~30	Internet、数码相机、图像视频编辑	DCT、“Zigzag”扫描、Huffman 编码、算术编码
新一代静态图像压缩编码 JPEG2000	压缩比 2~50	Internet、移动通信、打印、扫描、数码产品、遥感、传真、医学图像、数字图书馆、电子商务	JPEG 的所有技术、小波变换、EBCOT、ROI 编码、空间可扩展编码、质量可扩展编码、面向对象编码、位图形状编码、容错编码、TCQ、零树扫描

JPEG2000 标准已于 2000 年正式公布实施。JPEG2000 的目标是建立一个能够使用于不同类型(二值图像、灰度图像、彩色图像、多分量图像)、不同性质(自然图像、科学、医学、遥感图像、文本和绘制图形等)及不同成像模型(客户机/服务器、实时传送、图像图书馆检索、有限缓存和宽带资源等)的统一图像编码系统^[3,4]。该压缩编码系统在保证率失真和主观图像质量优于现有标准的条件下,能够提供对图像的低码率压缩。

JPEG2000 放弃了 JPEG 所采用的以 DCT 算法为主的区块编码方式,而改用以离散小波变换算法为主的多解析编码方式(编码方式采用 1998 年 David Taubman 提出的优化截取嵌入块编码 EBCOT^[5])。

JPEG2000 的优势主要集中在四个方面^[4,6]:

①高压缩率: JPEG2000 格式的图片可在现在 JPEG 的基础上再提高 10%~30%,而且压缩后的图像显得更细腻平滑;

②无损压缩:预测法作为对图像进行无损压缩编码的成熟方法被集成到 JPEG2000 中。此外,其误差稳定性也较好,能更好地保证图像的质量;

③实现渐进传输(Progressive Transmission):这是 JPEG2000 的一个重要特征。即在传输过程中,先传输图像的轮廓数据,然后再逐步传输其他数据来不断提高图像质量,实现图像由朦胧到清晰。即不断地向图像中插入像素以不断提高图像的分辨率;

④支持“感兴趣区域(ROI, Region of Interest)”(采用 Maxshift 方法):可以对图片上感兴趣的区域在压缩时指定这些区域的压缩质量,或在解压时指定某些区域的解压要求,这样,就结合了接收方对压缩的主观需

求,实现了交互式压缩。
另外, JPEG2000 还具有对比特错误具有鲁棒性(即能保证在噪声环境中传输发生比特错误时,解码器依然能解码,而且具有较好的图像质量)、将彩色图像和二值图像的编码方式统一起来等特点。同时还对图像安全保护、图像交换等方面做了考虑^[3]。

JPEG2000 所处理图像的长和宽可达到 $1\sim 2^{32}-1$ 个像素,分量深度可达到 1~32 比特。其应用范围非常广泛,既可用于打印、扫描、传真和医疗领域,又可用于遥感、Internet、移动通信、数字图书馆和电子商务,应用潜力非常巨大。

1.2 运动图像压缩技术标准

运动图像标准包括 MPEG1, 2, 4、H. 261, 3, 4 以及正在制定当中的 MPEG7 和 MPEG21, 如表 2^[1]所示。但 MPEG7 和 MPEG21 并不是压缩标准。MPEG7 全称为“多媒体内容描述接口 (Multimedia Content Description Interface)”,要解决的是如何在多如繁星的资料中找到用户需要的资料。MPEG21 可以描述成一些关键技术的集成,这些技术可以通过访问全球网络和设备实现对多媒体资源透明和增强地使用,标准将讨论是否需要和如何将协议、标准、技术等不同的组件有机地结合起来,是否需要新的规范,及在具备上述两个条件的前提下如何将不同的标准集成在一起^[7]。

表 2 运动图像压缩编码的国际标准

标准	效果	应用场合	采用的主要编码技术
p*64kbps 音视频编解码 H. 261	p*64kbps (p:1-30)	ISDN 视频会议	DCT、自适应量化、Zigzag 扫描、运动补偿预测、运动估计、Huffman 编码、容错编码
低比特率通信的视频编解码 H. 263		POTS 视频电话、桌面视频电话、移动视频电话	H. 261 所有技术、双向运动补偿、半像素/高级运动估计、重叠运动补偿、算术编码
极低码率视频编解码 H. 264	高于所有存在标准	同上	H. 263、MPEG-2 的所有技术、普适变长编码、自适应二进制算术编码
面向数字存储的运动图像及伴音编解码 MPEG-1	<1.5 Mb/s	光盘存储、VCD、消费视频、视频监控	JPEG 的所有技术、自适应量化、运动补偿预测、双向运动补偿、半像素运动估计
运动图像及伴音通用编解码 MPEG-2	1.5~3.5 Mb/s	数字电视、高品质视频、卫星电视、有线电视、地面广播、视频编辑、存储	MPEG-1 的所有技术、基于帧/场的运动补偿、空间可扩展编码、时间可扩展编码、质量可扩展编码、容错编码
音频视频通用编解码 MPEG-4	8kb/s~32Mb/s	Internet、移动通信、交互式视频、可视编辑、消费视频、专业视频、2D/3D 计算机图形	MPEG-2 的所有技术、小波变换、高级运动估计、重叠运动补偿、视相关可扩展编码、位图形状编码、对象编码、脸部动画、动态网格编码
通用的媒体描述接口 MPEG-7		多媒体数据库	MPEG-4 的所有技术、基于模型的编码

1.2.1 MPEG 系列标准

MPEG1 是为 11.5Mb/s 数字声像信息的存储而制定,没有指定具体的编码程序,只确定了一个标准的

编码码流和对应的一个标准的解码器。MPEG2 是为数字视频广播 (DVB)、高清晰度电视 (HDTV)、数字视盘 (DVD) 等制定的运动图像及其伴音编码标准,综合采用了利用运动补偿的帧间预测、空间域 DCT、自适应量化和可变字长编码的混合算法。为了适应不同码率和不同场合,该标准仅对比特流语法和相应的解码方法作了规定,而在编码器的设计上留有很大自由度,如运动估计的搜索算法和匹配函数的选择,利用人视觉特性的自适应量化等。

MPEG-4 专家组成立于 1993 年。相对于 MPEG 的前两个压缩标准, MPEG-4 已经不再是个单纯的视频音频编解码标准,它更多定义的是一种格式和框架,而不是具体的算法,从而为多媒体数据压缩提供了一个更广泛的平台。标准揉和了各种现有的多媒体技术,包括压缩本身的一些工具、算法和图像分析与合成、计算机视觉、计算机图形、虚拟现实、语音合成等技术。标准的主要特征是基于对象 (Object-Based) 的编码和基于模型 (Model-Based) 的编码。MPEG4 和 MPEG1、MPEG2 在编码效率上的主要区别是: MPEG4 提出一种新的方式来传输、访问和操作数字视听数据。与 MPEG1 和 MPEG2 的另一不同是: MPEG-1 和 MPEG-2 是基于帧的规范,而 MPEG-4 则是基于对象的规范。

对于静止对象, MPEG4 采用零树小波算法,并提供高压缩比。同时提供多达 11 级的空间分辨率和质量可伸缩性。MPEG4 为了支持基于对象的编码,引入了形状编码模型;为了支持高效压缩, MPEG4 仍然采用了 MPEG1、MPEG2 中的变换、预测混合编码框架。

另外,针对流媒体特别是视频流发展的需求, 2000 年 MPEG4 标准增补了视频流应用框架,提出了可精细扩展编码方法 (FGS, Fine Granularity Scalability)。经过多次实验, DCT 系数的比特平面编码因为实现复杂度低、性能优等特点被 MPEG4 选定为 FGS 编码机制。MPEG4 FGS 采用的是一种混合分层/嵌入式编码策略。压缩后的码流包括一个基本层和一个增强层,基本层采用非可扩展的基于 DCT 变换的运动补偿混合编码方法,对原始图像与基本帧重建图像之间的残差图像采用 DCT 系数的比特平面编码方法来得到增强层的码流。增强层码流可以在任意处截断,从而获得对码流速率的连续控制。

MPEG4 的功能有很多,如基于内容的交互性、错误处理的鲁棒性及基于内容的可伸缩性等。而在压缩方面,它改进了视频压缩效率,在同等条件下,主观视频质量要好于现有的其他标准;采用多并发数据流编码,支持对同一场景多视点的有效编码;对于立体视频

应用,要求具有利用信息冗余的能力,并支持有无与正常视频兼容要求条件下的联合编码方案。

1.2.2 H.26x 系列标准

1990 年, ITU-T 公布了第一个视频编码标准 H.261。H.261 是为在窄带综合业务数字网上开展 $p \times 64\text{kb/s}$ 的双向声像业务而制定的。它只对 CIF (Common Intermedia Format) 和 QCIF (Quarter CIF) 两种图像格式提供支持。H.261 在帧间编码时采用了基于 16×16 的宏块和整像素精度的运动估计,而在帧内编码时采用了 8×8 的数据块的 DCT 运算。这些算法有效地压缩了视频序列在时间和空间上的冗余度,使得 H.261 具有较高的压缩比。

1995 年国际电信联盟提出针对低比特视频应用,适应极低码率 (即小于 64kb/s) 传输信道的音频/视频编码国际标准,即 H.263^[8] 标准,主要用于 $p \times 8\text{kb/s}$ 速率信道、面向可视电话业务。它是目前以像素块为基元的 DCT/MC 混合编码技术所能达到最佳效果的一种方案,并获得巨大成功。为了降低了码率, H.263 在 H.261 的压缩算法的基础上做了一些改进,如: 预测模式不仅有前向预测,还可以有双向预测;用基于句法的算术编码代替了 Huffman 编码;运动矢量的估计和运动补偿都精确到半个像素 (取值范围为 $-16 \sim 15.5$) 等。H.263 中有五种标准的图像格式: sub-QCIF, QCIF, CIF, 4CIF 和 16CIF。VCEG (Video Coding Expert Group) 在 H.263 推出后继续对其进行改进,于 1998 年公布了 H.263+ 以及在 2000 年后公布了 H.263++。

H.26L 是 ITU-T 的视频编码专家组 (VCEG) 与 ISO/IEC JTC1 的 MPEG 专家组成的联合视频专家组 (JVT, Joint Video Team) 共同承担的极低码率视频编码远期研究项目,其目标是突破现有各种标准的水平,获得视频质量实质性的提高。新标准于 2003 年 3 月完成,成为 ITU-T 的 H.264^[9] 建议和 ISO/IEC 的 MPEG-4 标准的第 10 部分 (ISO/IEC 14496-10 AVC, 简称 MPEG-4-10)。H.26L 在系统层面上提出了一个全新的概念,在视频编码层 (VCL, Video Coding Layer) 以及网络适配层 (NAL, Network Adapter Layer) 之间进行概念性分割,前者是视频内容核心压缩信息的描述,定义了宏块层和宏块层以下的语法,后者是通过特定类型网络进行传输的表述,定义了片层以及片层以上的语法,这样的结构便于信息的封装和对信息进行更好的优先级控制。从 VCL 层来看, H.26L 表面上仍然采用了混合编码方案 (H.263、MPEG-2 等),包括基于子块的运动补偿预测、残留信号 (residual) 的变换编码、标量量化、Zigzag 扫描以及 VLC

熵编码等技术,然而其算法核心和以前的标准相比有了重大改变,采用许多最新的研究成果,主要包括:

①在运动估计中采用多个参考帧进行预测,运动矢量精度可以达到 $1/4$ 和 $1/8$ 像素;

②原先 8×8 的浮点 DCT 变换被 4×4 的整数 DCT 变换取代;

③原来的 VLC 变为普适变字长编码 UVLC(Universal Variety Length Coding)或基于上下文的自适应二进制算术编码 CABAC(Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding);

④除了采用帧间预测,还对 1 帧采用了多种帧内预测模式(6 种模式用于 4×4 子块,4 种模式用于 16×16 子块)。正是由于 VCL 中采用的各种新的高级技术,H.26L 可达到比 H.263+ 提高一倍以上的编码效率,并且在相当宽的码率范围均获得很好的图像质量,满足各种视频应用的要求,但其复杂度非常高,比 MPEG-2 高约一个数量级以上。

2 结束语

为了满足实际应用的需要,符合多媒体技术的发展趋势,新的图像压缩编码算法不断涌现,文献[10]中根据图像编码技术的发展将其划分成六代,而目前处于第四代。在图像编码技术发展的几十年中,其标准化工作也取得了长足的进展。国际标准在制定时都不对编码方法做出规定,为以后出现新的编码技术留下了余地,也为各大公司展开技术竞争留下了广阔的舞

台。而从图像编码的国际标准化过程,尤其是 MPEG 发展过程来看,基于对象(内容)的编码方法和基于元数据(Metadata)方法也许将是未来的发展趋势。

参考文献:

- [1] 尹显东,李在铭,姚 军,等.图像压缩标准研究的发展与前景[J].信息与电子工程,2003(4):23-27.
- [2] 丁贵广,郭宝龙.多媒体数据压缩标准化的现状与发展[J].计算机工程与应用,2002(1):104-107.
- [3] 王相海,张福炎.静态图像编码研究进展[J].计算机研究与发展,2001,38(11):1315-1326.
- [4] ISO/IEC, JTC1/SC29/WG1, ISO/IEC FCD 15444-1: Information technology JPEG2000 image coding system: Core coding system[WG1 N 1646R]. [EB/OL]. 2000. <http://www.jpeg.org/FCD15444-1.htm>.
- [5] 陈 静.静态图像压缩标准回眸[J].计算机应用与软件,2005,22(9):130-132.
- [6] 薛 猛,张 虹,刘 兵.图像编码技术及其标准化[J].计算机工程与设计,2004,25(9):1476-1478.
- [7] 高 文,吴 风.MPEG-4 编码的现状和研究[J].计算机研究与发展,1999,36(6):641-652.
- [8] ITU-T Rec. Video Coding for Low Bit Rate Communication [S]. H.263.1995.
- [9] ITU Recommendation. Advanced Video Coding[S]. H. 264/ISO/IEC 1496210. Final Committee Draft, Document Joint Video Team2022.NY, USA: Columbia University,2002.
- [10] 薛文通,宋建社,袁礼海,等.图像压缩技术的现状与发展[J].计算机工程与应用,2003(2):65-67.

(上接第 89 页)

```

}
Nodes.Add(t);
i++;
}
else
{
if(len1 > len)
{
//引用当前树根节点,传给下一次递归调用
Microsoft.Web.UI.WebControls.TreeNode t = Nodes[Nodes.Count-1];
FillTree(t.Nodes, dt, ref i); //递归调用直到树型菜单全部被显示出来
}
else
{ return; }
}
}
}

```

4 结束语

通过将树形图节点信息保存在数据库中,利用递归算法创建动态树形图,这种树形图的结构由数据库定义,因此相对静态树形图改变结构需修改代码而言,动态树形图结构的修改只需维护数据库,这为 ASP.NET 用户在创建 Web 应用程序时带来很大的方便。

参考文献:

- [1] 段 敏,张锡恩.基于合并思想和竞争学习思想的聚类新算法[J].计算机工程与设计,2006(5):1656-1659.
- [2] 王文龙.ASP.NET 技术内幕[M].北京:人民邮电出版社,2002.
- [3] 周鸣杨.详解 TREEVIEW 控件[EB/OL].1999-12. <http://media.ccidnet.com/media/ciw/881/b1001.htm>.
- [4] 毛尧飞..NET 数据服务 C# 高级编程[M].北京:清华大学出版社,2002.
- [5] 王 毅,杨 浩.ASP.NET1.0 高级编程[M].北京:清华大学出版社,2002.