

<http://www.phei.com.cn>

高等学校电气信息类教材

数字图像 处理和压缩



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry

马平 编著

内 容 简 介

本书不同于一般的数字图像处理教材。书中不仅讲述了数字图像处理和压缩的基本内容及基础理论,而且根据数字图像处理和压缩学科领域的最新发展,力求系统地揭示小波变换技术、多重小波变换技术等有关最新应用技术原理的数学理论。其中,最优小波函数理论和基于多重小波变换的图像压缩等内容是其他数字图像处理和压缩书籍尚未涉及的内容,也是作者留日多年来跟踪国际数字图像处理和压缩最新研发方向的成果。并且,结合作者在日研发期间所开发的实际应用案例进行了分析和验证。

书中不仅阐述图像处理和压缩的最新理论,而且配有丰富翔实的案例和图像范例等。本书即可作为大学高年级本科生和研究生的教材,也可作为图像处理和压缩领域研发人员的参考书和工具书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理和压缩/马平编著. —北京:电子工业出版社, 2007.4
(高等学校电气信息类教材)

ISBN 978-7-121-03898-3

I. 数... II. 马... III. 数字图像处理—高等学校—教材 IV. TN911.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第023726号

责任编辑:史平

印 刷:北京牛山世兴印刷厂
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×980 1/16 印张:18.5 字数:350千字

印 次:2007年4月第1次印刷

定 价:29.80元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zits@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

前 言

数字图像处理和压缩是一门年轻而且发展迅猛的学科。随着信息传输量的不断膨胀,对图像处理和压缩技术提出了越来越高的要求。早期制约图像处理发展的硬件环境问题和应用的广泛性问题已经不再受到图像处理专家的关注,而对图像处理和压缩算法问题的研究则显得更为重要。近年来,在传统的图像处理和压缩理论的基础上,小波变换和人工神经网络等理论成为热门的研究课题。

作者从事数字图像处理和压缩技术的研究和教学已有数年之久。从长期的工作经验中发现,无论是相关研究技术人员还是学生,对数字图像处理和压缩这门年轻而且发展迅猛的学科都抱有极大的兴趣。但同时,对这门学科相关的理论缺乏相应的基础。数字图像处理和压缩是一门理论性比较强的学科,正因为如此它才具有不断发展的前沿技术和日益增长的应用领域。我们在总结研究和教学经验的基础上,参考国内外最新版本的教材和论文,结合作者多年来跟踪国际数字图像处理和压缩最新研发方向的成果编写了这本书。

本书与国内外已出版的同类书相比,在以下几个方面具有独到之处。(1)在基于小波变换的图像压缩中,首次提出最优小波函数理论。(2)首次将多重小波变换理论应用到图像压缩领域,并结合图像压缩的实际应用案例进行分析验证。(3)对最新图像压缩技术和传统图像压缩技术进行系统性的比较分析,力求揭示各种图像压缩技术的特征和应用范围。(4)本书不仅阐述图像处理和压缩的最新理论,而且配有丰富翔实的案例和图像标本等。

本书包括以下9章。

第1章是绪论。主要介绍数字图像处理和压缩的背景、现状和最新发展。

第2章是数字图像基础。主要内容包括图像的数字化、图像的运算、图像的统计特性以及彩色图像的表达方式。

第3章介绍图像的频谱计算。介绍傅里叶变换、图像的频谱分析、图像的二维傅里叶分析和图像的二维快速傅里叶分析。

第4章介绍图像的数字滤波。主要介绍数字滤波基础、分离型滤波、平滑化滤波、高通滤波和有限长单位脉冲响应滤波器的设计方法。

第 5 章介绍图像的压缩。主要介绍图像压缩技术的分类、行程编码、Huffman 编码、LZW 编码、算术编码、DPCM 编码、预测编码和变换编码以及图像压缩的标准。

第 6 章介绍基于 DCT 变换的图像压缩。主要介绍 DCT 变换、DCT 变换的性能、DCT 变换压缩和 DCT 变换压缩的特征。

第 7 章讲述基于小波变换的图像压缩。主要研究小波变换、最优小波基函数理论、小波变换压缩和小波变换压缩的特征。

第 8 章讲述基于多重小波变换的图像压缩。主要研究多重小波变换、多重小波变换压缩和多重小波变换压缩的特征。

第 9 章介绍数字图像处理和压缩技术的最新进展。包括数字图像处理技术的最新进展和数字图像压缩技术的最新进展。

本书可作为计算机科学与技术、信号与信息处理和通信工程等专业高年级本科生及研究生的教科书，也可作为相关研究技术人员的参考书和工具书。

本书由马平主编，张丽华老师在本书的编写过程中提供了大力支持和帮助，深表感谢。

马 平

2007 年 2 月于北京航空航天大学

读者调查表

感谢对我们的支持！非常欢迎留下您的宝贵意见，帮助我们改进出版和服务工作。我们将从信息意见完备的读者中抽取一部分赠阅一本我们的样书（赠书定价限 50 以内，品种我们会与获赠读者沟通）。

姓名：_____ 职务/职称：_____ 单位：_____

邮寄地址：_____ 邮编：_____ 电话：_____

手机：_____ E-mail：_____ 专业方向：_____

您购买的出版物名称	
先进性和实用性	<input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不太好 <input type="checkbox"/> 差
图书文字可读性 (光盘使用方便性)	<input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不太好 <input type="checkbox"/> 差 (<input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不太好 <input type="checkbox"/> 差)
图书篇幅适宜度	<input type="checkbox"/> 很合适 <input type="checkbox"/> 合适 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不合适 <input type="checkbox"/> 差
出版物中差错	<input type="checkbox"/> 极少 <input type="checkbox"/> 较少 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 较多 <input type="checkbox"/> 太多
封面(盘面及包装)设计水平	<input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不太好 <input type="checkbox"/> 差
图书(包括光盘)印装质量	<input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不太好 <input type="checkbox"/> 差
纸张质量(光盘材质)	<input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不太好 <input type="checkbox"/> 差
定价	<input type="checkbox"/> 很便宜 <input type="checkbox"/> 便宜 <input type="checkbox"/> 合理 <input type="checkbox"/> 贵 <input type="checkbox"/> 太贵
您从何处获取出版物信息	<input type="checkbox"/> 书目报 <input type="checkbox"/> 电子社宣传材料 <input type="checkbox"/> 书店 <input type="checkbox"/> 他人转告 <input type="checkbox"/> 网站 <input type="checkbox"/> 报刊
您的具体意见或建议	

您或周围人士有何著述计划_____

您希望我处增添何种类型的图书_____

联系人冯小贝，联系方式：

地址：北京市万寿路 173 信箱 1102 室 邮编：100036 电话：010-88254555

传真：010-88254560 电子邮件：fengxiaobei@phei.com.cn, te_service@phei.com.cn

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 图像处理和压缩的目的及应用	1
1.1.1 图像处理的目的	1
1.1.2 图像处理的应用领域	1
1.1.3 图像压缩的目的和应用	4
1.2 图像处理和压缩的发展及研究项目	7
1.2.1 图像处理和压缩的发展	7
1.2.2 图像处理和压缩的研究项目	8
1.3 图像处理和压缩技术的展望	9
1.3.1 未来研究重点	9
1.3.2 应用前景展望	10
本章小结	11
参考文献	11
第 2 章 数字图像基础	13
2.1 图像数字化	13
2.1.1 图像数字化的表现形式	13
2.1.2 图像信号的采样	15
2.1.3 图像信号的量化	17
2.2 图像的运算	19
2.2.1 点运算	19
2.2.2 代数运算	20
2.2.3 几何运算	20
2.3 图像的统计特性	23
2.3.1 空间域统计特性	23
2.3.2 频率域统计特性	25

2.4 彩色图像表示方式	27
2.4.1 RGB 方式	27
2.4.2 YIQ 方式	28
2.5 图像运算和统计的实例	28
本章小结	39
参考文献	39
习题	40
第 3 章 图像的频谱计算	41
3.1 傅里叶变换	41
3.1.1 连续傅里叶变换	41
3.1.2 离散傅里叶变换	52
3.1.3 快速傅里叶变换	55
3.1.4 快速傅里叶变换的应用	64
3.2 图像的频谱分析	74
3.2.1 一维信号的频谱特性	74
3.2.2 图像的频谱分析	76
3.3 利用图像频谱进行能量分析	78
3.4 图像的二维快速傅里叶分析	79
3.5 图像的频谱计算实例	81
本章小结	85
参考文献	85
习题	86
第 4 章 图像的数字滤波	87
4.1 数字滤波基础	87
4.1.1 线性时不变系统	87
4.1.2 卷积	89
4.1.3 z 变换和传递函数	91
4.2 分离型滤波	99
4.2.1 滤波的分类	99

4.2.2	分离型滤波	102
4.3	平滑化滤波	104
4.3.1	低通滤波	104
4.3.2	中间值滤波	105
4.4	高通滤波	105
4.4.1	水平锐化和垂直锐化	105
4.4.2	水平垂直锐化	106
4.5	有限长单位脉冲响应 (FIR) 滤波器的设计方法	108
4.5.1	线性相位 FIR 数字滤波器的特性	109
4.5.2	窗口设计法 (时域)	117
4.5.3	频率采样法	127
4.5.4	FIR 数字滤波器的最优化设计	135
4.6	图像数字滤波的实例	141
	本章小结	160
	参考文献	160
	习题	160
第 5 章	图像的压缩	162
5.1	图像信息的冗余	162
5.1.1	为何要进行图像压缩	162
5.1.2	图像信息的冗余及分类	163
5.2	图像压缩的分类	164
5.3	图像的压缩编码	169
5.3.1	行程编码	170
5.3.2	Huffman 编码	170
5.3.3	LZW 编码压缩	173
5.3.4	算术编码压缩	174
5.3.5	DPCM 编码	175
5.3.6	预测编码	177
5.3.7	变换编码	179
5.4	现代压缩技术	181

5.4.1	混合编码实现的可能性及有效性	181
5.4.2	变换编码的特点与优势	182
5.4.3	子带编码技术	183
5.5	图像压缩的标准	183
5.5.1	视频技术	184
5.5.2	运动估计和补偿	184
5.5.3	纹理编码	185
5.5.4	MPEG-4 的主要技术	185
5.5.5	形状编码	186
5.5.6	伸屈性	186
5.5.7	差错回避	186
5.5.8	VLC 编码	187
	本章小结	187
	参考文献	187
	习题	187
第 6 章	基于 DCT 变换的图像压缩	189
6.1	DCT 变换	189
6.1.1	一维 DCT 变换	189
6.1.2	二维 DCT 变换	190
6.1.3	DCT 快速变换	191
6.2	DCT 变换的性能	192
6.2.1	分散分布	192
6.2.2	能量集中效率	196
6.2.3	残差相关	197
6.2.4	率失真与最大可约比特数	200
6.2.5	Wiener 滤波器	202
6.3	DCT 压缩	204
6.3.1	图像的 DCT 变换	204
6.3.2	图像的 DCT 压缩	205
6.3.3	图像的 DCT 分层压缩编码	209

6.4 DCT 压缩的特征	213
6.4.1 DCT 系数的能量集中	213
6.4.2 方块效应	213
6.4.3 蚊式噪声	214
本章小结	217
参考文献	217
习题	217
第 7 章 基于小波变换的图像压缩	219
7.1 小波变换	219
7.1.1 连续小波变换	219
7.1.2 离散小波变换	220
7.1.3 快速小波变换	226
7.1.4 基于子带编码的快速小波变换算法	229
7.2 小波变换的性质	232
7.3 最优小波基函数理论	233
7.4 小波变换压缩	234
7.4.1 图像的二维小波变换	234
7.4.2 小波变换压缩	237
7.5 小波变换压缩的特征	247
7.6 小波变换压缩的实例	248
7.7 基于整数小波变换的图像编码算法	254
7.7.1 基于提升格式的整数小波变换	255
7.7.2 EZW 编码算法及其缺陷	256
7.7.3 基于 ISZW 的编码算法	257
7.7.4 实验结果	259
本章小结	261
参考文献	261
习题	262

第 8 章 基于多重小波变换的图像压缩	264
8.1 多重小波变换.....	264
8.1.1 多重小波变换的原理.....	264
8.1.2 多重小波逆变换的原理.....	265
8.2 多重小波变换压缩.....	266
8.2.1 图像的多重二维小波变换.....	266
8.2.2 多重小波变换压缩.....	266
8.3 多重小波变换压缩的实例.....	266
本章小结.....	270
参考文献.....	270
习题.....	271
第 9 章 数字图像处理和压缩技术的最新进展	272
9.1 数字图像处理技术的最新进展.....	272
9.1.1 医学领域的图像处理技术.....	272
9.1.2 图片和印刷领域的图像处理技术.....	273
9.2 数字图像压缩技术的最新进展.....	273
本章小结.....	277
参考文献.....	277
附录 习题参考答案	278

第 1 章 绪 论

人类接受的信息中, 据统计 70%~80%来自视觉。我们利用这些视觉信息, 在人类生活中创建了多种产业。从广义的范围来说, 这种由视觉导入的信息都可以称为图像。但是在计算机技术领域利用图像信息的场合, 通常是在某些限定条件下考虑图像的。即一般把并非从现实世界直接导入视觉, 而是通过某些技术手段用二维或者三维表示的视觉信息称为“图像”。

1.1 图像处理 and 压缩的目的及应用

1.1.1 图像处理的目的

“图”是物体透射光或反射光的分布, “像”是人的视觉系统对图的接收在大脑中形成的印象或认识, 而图像是两者的结合。人类获取外界信息要靠听觉、视觉、触觉、嗅觉和味觉等, 但绝大部分(约 80%左右)是来自视觉所接收的图像信息。图像处理就是对图像信息进行加工处理, 以满足人的视觉心理和实际应用的需要。简单地说, 依靠计算机对图像进行各种目的的处理就称为数字图像处理。数字图像处理的早期目的是以人为对象, 为了满足人的视觉效果而改善图像的质量。处理过程中输入质量差的图像, 输出质量好的图像。常用的图像处理方法包括图像增强和复原等。随着计算机技术的发展, 有一类图像处理是以机器为对象, 处理的目的是使机器能够自动识别目标, 这称为图像识别。

1.1.2 图像处理的应用领域

图像处理在医学、遥感、工业、通信、商业娱乐和军事安全等领域有广泛的应用。

1.1.2.1 医学图像处理

医学图像处理可以把各种医学图像设备如 X 光机、CT、B 超、核磁、内窥镜、红外成像等所获取的图像进行分析和处理。医务人员根据各自的实际需要, 基于一张原始

图片, 经过特定的后处理, 从不同角度显示原图像中潜在的有利于诊断的特征信息。

图 1.1 显示了利用三维 X 光 CT 摄取的人的胸部图像, 其中(a)是投影图像, 即被摄体的 X 光透视图像, (b)是由投影图像得到的再构成图像, (c)为用最大值投影法 (MIP, Maximum Intensity Projection) 对再构成图像的部分进行处理后的图像。可以发现, 处理后的图像对内部结构的分析更加有利。

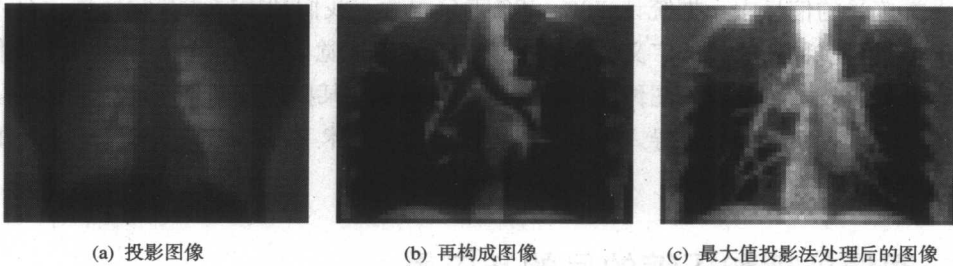


图 1.1 人的胸部图像

1.1.2.2 遥感图像处理

遥感图像通常需要进一步处理方可使用, 用于该目的的技术称为遥感图像处理。遥感应用范围包括陆地水资源调查、土地资源调查、植被资源调查、地质调查、城市遥感调查、海洋资源调查、测绘、考古调查、环境监测和规划管理等。

图 1.2 给出了美国新奥尔良地区受飓风袭击前后的卫星图像。

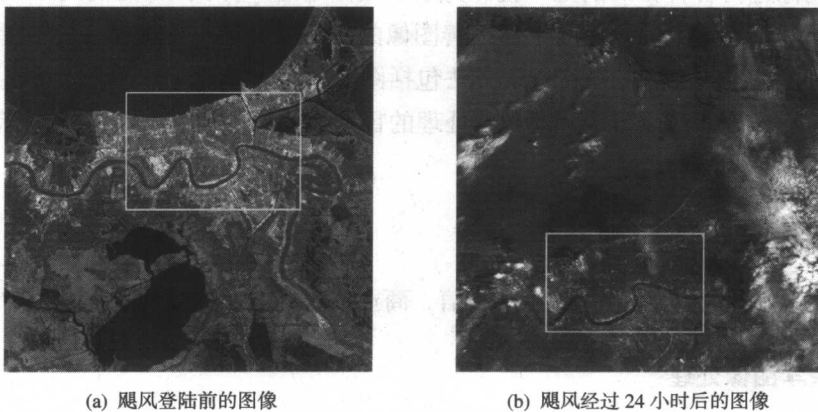


图 1.2 美国新奥尔良地区的卫星图像

1.1.2.3 工业图像处理

工业图像处理广泛应用于交通监控、工业检测和工业机器人等行业。交通监控包括城市交通、高速公路、铁路和航空监控等；工业检测可用于食品、医药、芯片电路和机械加工等；工业机器人可用于安全防灾、精密制造和恶劣环境下的监控等。

图 1.3 所示为印刷电路板检测图像的例子，可见线框内的焊点有虚焊之处。图 1.4 是停车场监控图像的例子，通过监控图像可以对停车场进行 24 小时的实时监控。

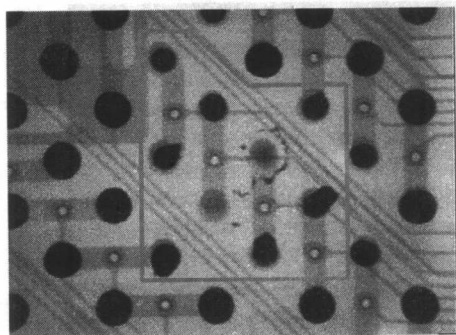


图 1.3 印刷电路板检测图像



图 1.4 停车场监控图像

1.1.2.4 通信图像处理

通过电（或光）信号传送图像（包括静止图像和活动图像）的通信方式称为图像通信。静止图像通信包括传真、可视图文、图文电视、快扫/慢扫静止图像和电子邮箱等。活动图像通信包括可视电话、会议电视、普通电视和高清晰度电视等。其中数字式高清晰度电视正在逐步商业化。由于活动图像的信息量大，故需要压缩频带后再进行通信。

1.1.2.5 商业娱乐图像处理

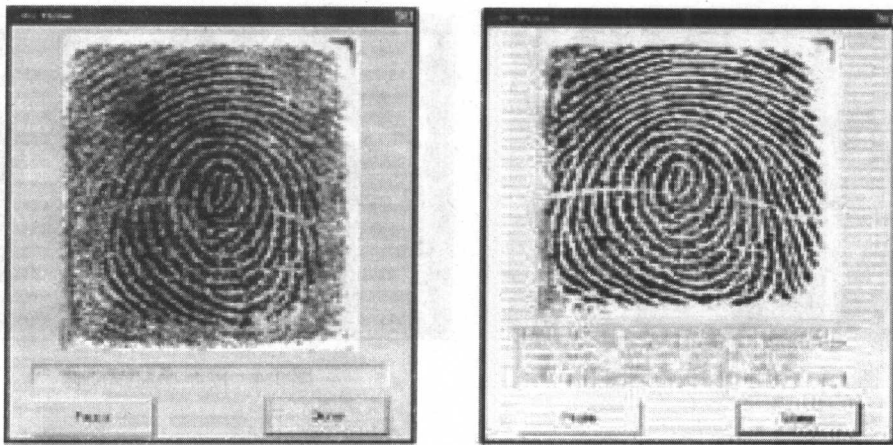
在商业应用中，如电子图像广告和电子图像游戏等均会涉及到。随着计算机技术和网络技术的迅速发展，数字动画应运而生。而以数字媒体为基础的动画产业成为全球迅猛发展的朝阳产业，市场前景相当广阔。

1.1.2.6 军事安全图像处理

人类的生物特征识别是一种典型的模式识别，它以人体唯一的生物特征（如指纹、

虹膜、脸部和掌纹等)为依据,利用计算机的强大功能和网络技术进行图像处理和模式识别,用以鉴别人的身份。与传统的身份鉴定方法相比,生物识别技术具有安全、保密、方便、不易遗忘、防伪性能好、不易伪造或被盗、可随身“携带”和随时随地可用等优点。近年来,随着模式识别、图像处理和信息传感等技术的不断发展,生物特征识别技术在军事安全方面已显示出广阔的应用前景。

图 1.5 是指纹图像处理的例子,(a)为处理前的图像,(b)为处理后的图像,可见经过处理后的图像更能显示出指纹的特征信息。



(a) 处理前的图像

(b) 处理后的图像

图 1.5 指纹图像

1.1.3 图像压缩的目的和应用

为什么要进行图像压缩?首先是为了减少存储容量,以利于信息的保存。如果说数据库是一个桶,那么单位数据的体积越小,同一数据库存储的信息也就越多。普通卫星图像的4个信道的平均压缩比为2,也就是说,同一容量的数据库可以成倍地增加有效库存。其次是有利于数据传输。由于数据压缩是一种“去伪存真,去粗取精”的筛选,并且可以用“代码”表示一组数据,所以压缩后的数据非常“精干”。这样就可以极大地减少必须传输的数据量,以满足人眼和机器分析的要求。第三是便于特征提取,以利于计算机模式识别。例如用计算机对卫星图像中不同类型的农作物进行分类时,使用图像压缩方法,只要考虑区分植物与非植物的特征以及区分植物类型的特征即可,从而减

少了数据量同时又满足了实际需要。

目前,图像压缩主要有静止图像压缩和动态图像压缩两大分支。静止图像压缩的标准采用 JPEG,动态图像压缩则采用 MPEG 作为压缩标准。

JPEG 全名为 Joint Photographic Experts Group,它是一个在国际标准组织(ISO)下从事静态图像压缩标准制定的委员会。它制定出了第一套国标静态图像压缩标准:ISO 10918-1,我们通常称之为 JPEG。由于 JPEG 具有优良的品质,使得它在短短的几年内就获得了极大的成功。目前,网站上 80%左右的图像都采用 JPEG 的压缩标准。然而,随着多媒体应用领域的激增,传统 JPEG 压缩技术已无法满足人们对多媒体图像资料的要求。由此,更高压缩率以及更多新功能的新一代静态图像压缩技术 JPEG 2000 诞生了。

JPEG 2000 的正式名称为“ISO 15444”,同样是由 JPEG 组织负责制定的。其筹划期始于 1997 年 3 月开始筹划,不过这几年间,在算法选取问题上耽误了不少时间,人们普遍预计要到 2000 年 12 月 JPEG 2000 才能制定完成。但在 2000 年 3 月东京的一个会议上,可能是由于数字照相机厂商施加压力,规定基本编码系统的最终协议草案提前出台,从而不用改名为 JPEG 2001 了。

JPEG 2000 的应用领域可概略分成两部分,一为传统 JPEG 的市场,像打印机、扫描仪和数码相机等;二为新兴应用领域,像网络传输、无线通信和医疗图像等。目前,对 JPEG 2000 最为热衷的是那些数字照相机厂商。JPEG 2000 和 JPEG 相比优势明显,且向下兼容,取代传统的 JPEG 格式指日可待。

MPEG 标准是由国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)共同制定的视频编解码标准。MPEG 是运动图像专家组(Moving Pictures Experts Group)的缩写,制定的视频压缩标准包括 MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 和 MPEG-7 等。其中, MPEG-2 视音频压缩标准是专为数字电视传输和分配等高质量视音频应用而制定的。

MPEG-2 是一种高质量的视频压缩标准,也有人称之为用于广播电视的视频压缩标准。ISO 和 IEC 在制定 MPEG-1 标准时,已经对 MPEG-2 和 MPEG-3 有所考虑,当时称之为 MPEG-1, 2, 3 阶段标准。随着大量提案的涌入,对 MPEG-2 标准提出了越来越多的要求。人们希望其中囊括视频通信领域的各个方面,例如多点会议电视、工作站窗显示、ATM 网络视频通信和嵌入式标准电视、HDTV 等。要求编码输出码流的句法能够适应上述各种应用,以及要求解码器能识别并解出各种等级的原图像。另外,还要求美国和欧洲的 HDTV 方案都要容纳进去,以及 MPEG 组织于 1992 年取消了的设想中的 MPEG-3 也要包括在内。