



测绘科技专著出版基金资助

CEHUI KEJI ZHUANZHU CHUBAN JIJIN ZIZHU

Optical Remote Sensing Image Compression Quality Assessment

翟亮 唐新明 著

光学遥感影像压缩 质量评价



测绘出版社

测绘科技专著出版基金资助

光学遥感影像压缩质量评价

Optical Remote Sensing Image Compression
Quality Assessment

翟 亮 唐新明 著

测 绘 出 版 社

· 北京 ·

© 翟亮 唐新明 2011
所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 提 要

本书在介绍和讨论了现有光学遥感影像有损压缩的质量评价方法、技术及其应用的基础上,提出了面向光学遥感影像压缩主观质量评价的模糊综合评判方法;发展了针对重建影像构像质量的影像特征分析方法、影像对比分析方法及应用分析方法,并以此为基础设计了影像构像质量的综合性评价指标,该指标不仅可以反映影像的整体情况,还可以替代其他评价指标并简化评价过程;从影像匹配精度、自动生成DSM精度和摄影测量点定位精度等方面出发,分析了压缩编码算法对光学遥感影像几何精度的影响;设计、实现了光学遥感影像压缩质量评价原型系统,并基于此系统构建了面向测绘、国土、地质等应用的光学遥感影像压缩质量评价指标体系。

本书可供测绘、地理信息系统、遥感与摄影测量、数据压缩等相关专业的科研人员、教师、研究生和高年级本(专)科学生等学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

光学遥感影像压缩质量评价/翟亮,唐新明著. —北京:
测绘出版社, 2011. 9
ISBN 978-7-5030-2292-0

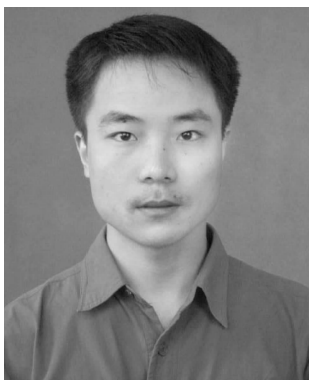
I. ①光… II. ①翟… ②唐… III. ①光学遥感—遥感
图象—图象压缩—质量—评价 IV. ①TP75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 088451 号

责任编辑	万茜婷	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍 李 艳
出版发行	测绘出版社				
地 址	北京市西城区三里河路 50 号	电 话	010—68531160(营销)		
邮政编码	100045		010—68531609(门市)		
电子信箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.sinomaps.com		
印 刷	北京建筑工业印刷厂	经 销	新华书店		
成品规格	169mm×239mm				
印 张	8.25	字 数	170 千字		
版 次	2011 年 9 月第 1 版	印 次	2011 年 9 月第 1 次印刷		
印 数	0001—1500	定 价	30.00 元		
书 号	ISBN 978-7-5030-2292-0/P·532				

本书如有印装质量问题,请与我社联系调换。

作者简介



翟亮,1980 年 5 月生,2007 年获武汉大学地图制图学与地理信息工程专业工学博士学位。现主要从事遥感与地理信息系统的科研工作,主要研究方向包括空间数据质量分析、遥感影像处理等。曾获测绘科技进步一等奖和国土资源科技进步二等奖各 1 项,发表论文 40 余篇。



唐新明,1966 年 12 月生,现为国家测绘地理信息局卫星测绘应用中心副主任。主要研究方向包括时空数据库、土地信息系统、模糊地理信息系统、航天测绘遥感等。曾 2 次荣获国家科技进步二等奖,多次荣获省部级科技进步奖,发表论文 70 余篇,出版多部中英文专著。

前 言

遥感影像压缩的质量评价是压缩算法设计者和影像产品使用者非常关心的一个重要问题。为了满足遥感影像的应用要求,尤其在卫星发射之前,往往需要用户和压缩技术研制单位共同协商并制定压缩指标(如压缩比)。压缩影像质量评价是提出正确指标的客观依据:通过对遥感影像压缩的质量评价,比较原始影像和重建影像的差异,能够发现压缩算法对影像质量的影响。本书面向光学遥感影像压缩的测图应用要求,以光学遥感影像压缩的主观及客观评价为核心,提出了一套相对完善并实用的光学遥感影像压缩质量评价的方法体系,并针对资源三号卫星(高分辨率立体测图卫星)星上有损压缩指标的选取得出结论,即在保证影像失真不影响判读质量并满足测绘生产规范要求的情况下,采用 JPEG 2000 或 JPEG-LS 压缩算法可以接受的压缩比不应高于 4 : 1。

本书的完成得到了国家“863”重点项目(2009AA122003)、国家自然科学基金项目(40801178)和地理空间信息工程国家测绘地理信息局重点实验室开放基金的资助,在此表示衷心的感谢。

感谢中国测绘科学研究院院长张继贤研究员、澳大利亚联邦科学与工业研究组织吴晓良研究员、武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室张过副教授、中国国土资源航空物探遥感中心甘甫平研究员、中国土地勘测规划院刘顺喜研究员等,在本书的完成过程中所给予的诚恳的建议和帮助。

由于作者水平有限,书中错漏不足之处敬请广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 研究背景	1
§ 1.2 遥感影像压缩质量评价的研究现状	2
§ 1.3 本章小结	5
第 2 章 遥感影像压缩技术	6
§ 2.1 影像压缩原理和分类	6
§ 2.2 影像压缩算法	9
§ 2.3 遥感影像压缩	22
§ 2.4 本章小结	27
第 3 章 遥感影像压缩质量评价	29
§ 3.1 主要失真类型分析	29
§ 3.2 遥感影像压缩实验	29
§ 3.3 遥感影像压缩质量评价的原则和内容	35
§ 3.4 本章小结	36
第 4 章 遥感影像压缩的主观质量评价	38
§ 4.1 人眼的感知特性	38
§ 4.2 主观质量评价方法	40
§ 4.3 相关实验与结论	45
§ 4.4 主观质量评价的局限性分析	52
§ 4.5 本章小结	53
第 5 章 遥感影像压缩的构像质量评价	55
§ 5.1 构像质量评价	55
§ 5.2 影像特征分析	56
§ 5.3 影像对比分析	60
§ 5.4 应用分析	62
§ 5.5 本章小结	72

第 6 章 遥感影像构像质量的综合性评价指标	74
§ 6.1 综合性评价指标的设计	74
§ 6.2 指标验证与分析	76
§ 6.3 相关实验与结论	79
§ 6.4 本章小结	81
第 7 章 遥感影像压缩的几何质量评价	83
§ 7.1 影像匹配的精度评价	83
§ 7.2 自动生成数字表面模型的精度评价	87
§ 7.3 摄影测量定位的精度评价	92
§ 7.4 相关实验与结论	94
§ 7.5 本章小结	103
第 8 章 遥感影像压缩质量评价系统及应用	105
§ 8.1 遥感影像压缩质量评价系统的设计与实现	105
§ 8.2 遥感影像压缩质量评价指标体系	107
§ 8.3 本章小结	110
第 9 章 总结和展望	111
§ 9.1 总结	111
§ 9.2 展望	112
参考文献	114

CONTENTS

Chapter 1	Introduction	1
§ 1.1	Background	1
§ 1.2	Current Situation of Remote Sensing Image Compression Quality Assessment	2
§ 1.3	Chapter Summary	5
Chapter 2	Remote Sensing Image Compression Technology	6
§ 2.1	Image Compression Principle and Classification	6
§ 2.2	Image Compression Algorithms	9
§ 2.3	Remote Sensing Image Compression	22
§ 2.4	Chapter Summary	27
Chapter 3	Remote Sensing Image Compression Quality Assessment	29
§ 3.1	Major Distortion Types	29
§ 3.2	Remote Sensing Image Compression Experiments	29
§ 3.3	Principle and Content of Remote Sensing Image Compression Quality Assessment	35
§ 3.4	Chapter Summary	36
Chapter 4	Subjective Quality Assessment of Remote Sensing Image Compression	38
§ 4.1	Visual Cogintion of Human Eyes	38
§ 4.2	Subjective Qualtiy Assessment Methods	40
§ 4.3	Experiments and Results	45
§ 4.4	Limitations of Subjective Qualtiy Assessment	52
§ 4.5	Chapter Summary	53
Chapter 5	Imaging Quality Assessment of Remote Sensing Image Compression	55
§ 5.1	Imaging Quality Assessment	55
§ 5.2	Image Character Analysis	56
§ 5.3	Image Contrast Anslysis	60

§ 5.4	Application Analysis	62
§ 5.5	Chapter Summary	72
Chapter 6	Comprehensive Imaging Quality Assessment Index of Remote Sensing Image Compression	74
§ 6.1	Comprehensire Image Quality Assessment Index Design	74
§ 6.2	Index Validation and Analysis	76
§ 6.3	Experiments and Results	79
§ 6.4	Chapter Summary	81
Chapter 7	Geometric Qualtiy Assessment of Remote Sensing Image Compression ...	83
§ 7.1	Accuracy Assessment of Image Matching	83
§ 7.2	Accuracy Assessment of Automated DSM/DEM Extraction	87
§ 7.3	Accuracy Assessment of Photogrammetric Point Determination ...	92
§ 7.4	Experiments and Results	94
§ 7.5	Chapter Summary	103
Chapter 8	Remote Sensing Image Compression Quality Assessment System and Its Application	105
§ 8.1	Remote Sensing Image Compression Quality Assessment System Design	105
§ 8.2	Index System of Remote Sensing Image Compression Quality Assessment	107
§ 8.3	Chapter Summary	110
Chapter 9	Summary and Prospect	111
§ 9.1	Summary	111
§ 9.2	Prospect	112
References		114

第1章 绪论

影像压缩的研究主要包括两个方面:一方面是压缩算法的研究,如各种高效的无损或有损压缩算法;另一方面是通过研究重建影像(reconstructed image)质量的衰减程度探讨现有压缩算法的优缺点和应用潜力,即影像压缩的质量评价。影像压缩的质量评价已广泛用于遥感影像、医学影像、多媒体、网络传输,以及光学系统设计等。在航空、航天遥感影像测图应用领域,需要针对遥感影像数据的特点,通过研究压缩后重建影像质量的衰减程度,探讨现有的压缩方法在遥感影像测图中的应用潜力。

§ 1.1 研究背景

即将发射的首颗高分辨率光学立体测图卫星——“资源三号”,采用经过适应性改进的“资源二号”卫星平台,配置4台相机,包括地面分辨率优于4.0 m的前视、后视全色TDI CCD相机各1台,地面分辨率优于2.5 m的高分辨率正视全色TDI CCD相机1台以及地面分辨率优于10.0 m的正视多光谱相机1台。其中,前视、后视及正视全色相机输出的原始遥感影像数据率如下。

(1)前视、后视全色相机:288 Mb/s。

(2)正视全色相机:666 Mb/s。

如此巨大的数据量需要在卫星上进行缓存,直到卫星到达通信区域范围才能在一定时间内将数据从卫星平台上传到地面接收站,而受限于星上存储能力和卫星下行链路的带宽(“资源三号”卫星通道带宽不大于375 MHz),为了获得较高的压缩比,原始遥感影像数据必须经过星上数据有损压缩之后才能进入存储器存储。

影像压缩对于航天遥感应用有着深远的影响。只要有损压缩必定会带来影像畸变,虽然压缩比不同所造成的畸变程度不同,但是都会降低传感器成像能力,所以这对于传感器设计、卫星轨道设计、光谱波段和空间分辨率的设计,以及卫星检校过程等都会产生影响。最为重要的是影像压缩质量直接关系到将来卫星遥感影像数据的应用能力和应用范围,换言之,关系到这颗卫星所能带来的经济效益和社会效益。国外的遥感卫星在发射前都要对关键技术及其应用进行大量的预研究,为卫星指标设计和指标论证提供理论依据和实践依据,以便在卫星发射之后能够满足任务要求,充分发挥卫星的应用潜力。欧美卫星,如SPOT 5、IKONOS等卫星的影像压缩与实际应用结合紧密,影像受压缩影响很小,卫星应用效果较好;而我国资源卫星02B星的影像压缩,由于影像压缩比过大,导致卫星应用受到限

制。因此,在卫星发射之前,进行影像压缩的质量评价研究具有重要意义。

§ 1.2 遥感影像压缩质量评价的研究现状

1.2.1 国内外研究进展

遥感影像压缩质量评价是影像质量评价的一个重要方面,同时也是卫星遥感影像压缩的一个重要环节,通过评价不仅可以为压缩算法的使用范围和应用能力提供理论依据,还可以为主要压缩指标的设计提供参考。因此,国内外学者在影像质量评价领域开展了大量研究。

在主观质量评价方面,美国航空遥感界推出了美国国家影像解译分级标准(National Imagery Interpretability Rating Scale, NIIRS)来度量压缩影像质量损失的程度,NIIRS定义了不同质量的影像,并根据影像的解译性能对影像分级。NIIRS提供了一种将影像质量和解译关联的方式,但并不通用(刘荣科等,2004)。Eckstein等(2000)研究了联合图像专家组(joint photographic experts group, JPEG标准、基于小波变换的网格编码量化)(wavelet/trellis-coded quantization, W/TCQ)压缩和智能带宽压缩(intelligent bandwidth compression, IBC)等方法对于合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)影像压缩的影响,评价标准类似于雷达NIIRS方法,主要评价内容包括阴影(shadow)、对比度(contrast)、反射旁瓣(sidelobe)、斑点(speckle)、模糊度(blurring)五个方面,评价结果显示 W/TCQ 和 IBC 算法可以提供较好的压缩效果并且可以达到很高的压缩比。Eskicioglu(2000)总结了多数研究人员采用的等级量表,这在第四章将有详细描述。

在影像压缩的构像质量(判读质量)评价方面,Eskicioglu等(1995)研究了影像构像质量评价的指标,指出主观评价和均方误差(mean square error, MSE)是评价指标中不可缺少的内容。Okkalides(1998)提出对于医学诊断影像,尚没有一个统一的可接受的有损压缩比,并通过研究离散余弦变换(discrete cosine transform, DCT)压缩算法对影像质量的影响,提出 10 : 1 以下的压缩比基本可以满足医疗诊断的需要。Yang等(1999)和 Sung等(2002)及 Kocsis等(2003)先后研究了 JPEG 和 JPEG 2000 有损压缩算法用于医学影像压缩的质量评价。之后, Matsuoka等(2004)研究了 JPEG 和 JPEG 2000 有损压缩算法对彩色遥感影像压缩的影响,提出从色彩和纹理两个方面来评价影像压缩对航空影像颜色质量的影响,研究表明 JPEG 2000 算法比 JPEG 算法更加优秀,前者可以更好地保持影像的颜色特征。Wang等(2002a, 2004a, 2004b)利用影像结构的相似性,提出了一种综合性评价指标即结构相似度(Structural Similarity, SSIM)用于静态影像或视频的质量评价。Cadik等(2004)比较了传统的视觉差异预测(visible differences

predictor, VDP)方法和 SSIM 方法,实验结果表明 SSIM 方法是一种优秀的评价方法。Gao 等(2005)则在 Wang 等人的研究基础上,提出了基于内容尺度(content-based metric, CBM)的评价方法, CBM 方法结合了模糊数学的方法来评价压缩影像的构像质量,实验表明 CBM 方法的评价结果与主观质量评价结果有较好的一致性。在应用方面, Habibi 等(1993)研究了差分脉冲编码调制(differential pulse code modulation, DPCM)压缩算法对于 Landsat 的 TM 多光谱影像分类的影响, Shen 等(1993)研究了 K-L 变换(Karhunen-Loeve transform)和 DCT 变换对于 ERIM M7 多光谱影像分类精度的影响。另外一些研究(Paola et al, 1995; Correa et al, 1998; Lau et al, 2003)均是针对 JPEG 压缩算法对于影像分类的影响展开的。Ives 等(2005)研究了 JPEG 2000 压缩算法对于人眼虹膜识别的影响,研究结果表明压缩比在 20 : 1 之内, JPEG 2000 算法对识别错误率没有很大影响。Funk 等(2005)研究了 JPEG、JPEG 2000 和小波标量量化(wavelet scalar quantization, WSQ)压缩算法对于指纹和人脸识别的影响,研究结果表明 JPEG 2000 和 WSQ 算法要优于 JPEG 算法。此外,国内学者(戴勇书 等, 1984; 李莉华, 1988; 贾永红, 1991; 王昱, 2000; 张兵 等, 2000; 曾生根 等, 2001; 王昱 等, 2002; 贾永红, 2003)也研究了影像的构像质量评价,提出了相应的评价指标。

对于影像压缩的几何质量评价,国内外已开展了不少相关研究。国内学者提出了采用最小二乘匹配法研究重建影像几何畸变程度,即通过对原始影像和重建影像之间进行逐点最小二乘匹配,对匹配成功点中满足匹配阈值的点进行了统计,实验结果表明随着压缩比的提高,影像的几何畸变增大,可量测性下降(钱曾波等, 1996; 耿则勋, 1999)。叶勤等(2001)利用 JPEG 压缩算法和 Laplacian5/7 双正交小波压缩算法对低空飞行时利用 CCD 对地扫描获得的影像和 SPOT 卫星的全色影像进行压缩处理,并对结果进行了匹配实验,分析了原始影像匹配结果和重建影像匹配结果的差异,认为在精度要求极高的情况下(匹配精度在 0.1 像素时),有损影像压缩技术要慎用。袁修孝等(2001)对扫描数字化的航空立体像对进行了 1 到 100 不同质量因子的 JPEG 压缩,获得一组质量各异的压缩影像,从分析重建影像定位结果的变化入手,探讨了 JPEG 压缩对摄影测量点定位的影响;其试验结果表明有损 JPEG 压缩对摄影测量点定位的影响是显著的,即随着压缩比的增大,影像可视化质量逐渐衰减,像点量测精度不断降低,加密点位几何精度呈线性趋势下降,且高程精度比平面精度衰减更快。Maeder(1998)认为影像匹配精度受影像质量影响,也研究了由 JPEG 压缩算法所引起的影像质量的改变对影像匹配精度的影响,他利用混合匹配方法,即综合利用基于面积的匹配方法和基于特征的(feature-based)匹配方法,结果证明在压缩比低于 10 : 1 时,可以达到较好的匹配精度。Fukue 等(1998)采用 JPEG 算法对 PRISM 传感器的模拟立体像对(对前后视影像进行模拟得到分辨率为 2.5 m 的全色影像)进行压缩,并比较了模拟立体像

对和不同压缩比下的重建影像(立体像对)生成数字地面模型(digital terrain model,DTM)的精度,DTM生成采用了最小二乘匹配方法,实验表明在压缩比不超过6:1的情况下,高程平均误差低于2.5 m。其他一些专家学者也都研究了JPEG压缩算法对于数字航空影像自动生成DTM的精度影响;Robinson等(1995)的研究结果表明JPEG压缩算法在压缩比增大的情况下会使得DTM的高程精度逐渐减少,而提高扫描分辨率可以改善高程精度;Lam等(2001)的研究结果表明对于航摄比例尺为1:8 000、扫描分辨率为25 μm 数字航空立体全色像片,在压缩比低于10:1的情况下,JPEG压缩算法对于DTM精度的变化没有很大影响,但如果原始影像的纹理越丰富,重建影像的几何质量则下降越多;Reeve等(1997)试图寻找JPEG压缩比和DTM精度之间的关系模型,通过实验证明了DTM精度的标准偏差与JPEG压缩比之间存在近似线性的关系。台湾学者Shih等(2005)采用基于面积的(area-based)匹配技术,评价了JPEG和JPEG 2000压缩算法对于自动提取数字表面模型(digital surface model,DSM)的影响,其所采用的数据源为数字航空像片,以原始立体像对所提取的DSM为参照,对比不同压缩比(2:1至100:1)下的重建影像(立体像对)提取DSM的高程精度,实验结果表明随着压缩比的增加,高程精度呈线性下降的趋势,而且JPEG 2000压缩算法对像点成功匹配率的影响不大。此外,针对数字高程模型(digital elevation model,DEM)数据压缩的几何精度评价也有一些相关研究,如Franklin等(1995,1996)的研究表明采用Progcode压缩算法对于格网DEM(由美国地质调查局提供)的压缩,可以保持较高的精度,即对于分辨率为0.25~15 m的DEM,每个格网点压缩为0.1 bits,高程的均方误差最大仅为3 m。Rane等(2001)采用JPEG-LS算法对两种DEM数据进行了压缩实验,结果表明采用JPEG-LS算法提供的近无损模式进行压缩,DEM精度可以达到0.000 01 m(Rane et al,2001)。

1.2.2 存在的问题

从国内外有关遥感影像压缩质量评价的研究进展中可以发现,已有的理论方法及其应用主要存在下列问题。

1. 缺少一套完整的遥感影像压缩质量评价方案

迄今为止,尚没有一个大家公认的关于遥感影像压缩质量的评价体系,测绘领域的应用非常重视重建影像的测图精度——几何定位精度,即几何质量,往往忽视了构像质量的分析,而构像质量与几何质量是相互联系和制约的,开展重建影像质量评价不应将两者割裂开来。

2. 没有考虑数据压缩对不同地形类别的影响

多数学者认为压缩比和影像质量之间有很强的对应关系。一般来说,压缩比越大,数据量越小,同时影像质量下降越多。然而,针对压缩比与影像质量的更全

面的考察还没有相关文献报道。例如,研究不同地形类别和不同纹理丰富程度的原始影像经过压缩后,随着压缩比的改变,影像构像质量和几何质量的变化。在测绘中,对于不同的地形类别具有不同的遥感制图精度要求。为了面向遥感影像的测绘应用需要,应该充分考虑数据压缩对不同地形类别遥感影像的影响,并得出相应的结论,为相关应用提供参考。

3. 重建影像的构像质量评价指标有待改进

遥感影像具有内容丰富、信息量大、纹理较多的特点,并且遥感影像的用户非常关心重建影像的纹理细节损失的情况,因为纹理损失会对影像判读、解译和立体量测等产生影响,而现有的重建影像构像质量评价指标不足以反映压缩后的遥感影像灰度特征畸变、纹理畸变及相关性损失等。因此,重建影像构像质量评价指标应与主观评价结果具有较好的一致性。

4. 缺少针对我国研制的星上压缩算法的质量评价

针对我国首颗高分辨率光学立体测图卫星——“资源三号”卫星的星上压缩指标的设计,需要开展针对我国研制的星上压缩算法,如 SPIHT 改进算法(以下简称 SPIHT 算法)、JPEG-LS 算法的质量评价,尤其是几何精度方面的评价,目前这方面的研究还比较少。对于卫星遥感产业来说,卫星应用是最为核心的问题。一般地,遥感卫星受限于星上存储能力的大小和卫星下行链路的带宽,为了获得较高的压缩比,必须牺牲数据质量即采取数据有损压缩方式进行数据的存储与传输。但是数据质量的牺牲是有一定限度的,因为质量下降太多必然会严重影响卫星影像的应用能力。因此,可以通过将其和其他优秀的压缩算法,如 JPEG 2000,进行比较,并对它们进行评价,为 SPIHT 算法的改进设计提供参考。

§ 1.3 本章小结

本章作为全书研究背景的介绍,阐述了遥感影像压缩质量评价的重要性及其国内外的研究现状,并指出了现有遥感影像压缩质量评价研究的不足。

(1) 遥感影像压缩质量评价是卫星遥感影像压缩的一个重要环节,通过评价可以为压缩算法的使用范围和应用能力提供理论依据,并为主要压缩指标的设计提供参考。在卫星发射之前,进行遥感影像压缩的质量评价研究具有重要意义。

(2) 国内外学者在影像质量评价领域开展了大量研究,主要包括主观质量评价、构像质量评价、几何质量评价等。

(3) 从国内外研究进展中可以发现,已有的理论方法及其应用,还存在一些亟待解决的问题,如缺少一套完整的遥感影像压缩质量评价方案,没有考虑数据压缩对不同地形类别的影响,重建影像的构像质量评价指标有待改进,以及缺少针对我国研制的星上压缩算法的质量评价。

第2章 遥感影像压缩技术

影像压缩编码长期以来利用 DCT 作为影像变换编码的主要技术,并已有各种标准问世,如联合图像专家组(joint photographic experts group, JPEG)标准、JPEG-LS 标准及动态图像专家组(moving picture experts group, MPEG)标准中的 MPEG-1 和 MPEG-2 等。然而利用离散余弦变换作为变换编码的主要技术是将影像分成 8 行 8 列共 64 块来处理,故存在着两个主要的问题,即方块效应和蚊式噪声(马维祯,1995)。与 JPEG 标准所采用的离散余弦变换相比,离散小波变换(discrete wavelet transformation, DWT)能够有效地解决方块效应和基本上解决蚊式噪声,并且具有很好的局域性,能够针对不同类型特点的影像中的不同区域,采用不同的空间频率分辨率,从而有可能取得更好的压缩比,而且还可以提供实现无损压缩的机制,从而成为影像压缩编码的主要技术之一。

§ 2.1 影像压缩原理和分类

2.1.1 简介

影像压缩是一门学科,起源于信息论(Jackson et al,1993),简言之,就是对影像数据按照一定的规则进行变换和组合,用尽可能少的数据量来表示影像,形象地说,就是对影像数据“瘦身”。影像数据之所以能够被压缩,是因为数据间冗余的存在。所谓冗余即存在某些不需要的成分,它是一个在数学上可以进行量化的实体。冗余主要包括如下几种。

(1)像素间冗余:一般相邻的两个像素具有相近的灰度,它们在灰度上存在相关性,这表明图像存在像素间冗余。

(2)心理视觉冗余:人的视觉具有掩盖效应对空缺席填充的能力,那些因视觉的有限性和联想性可以丢弃的、不重要的信息称为心理视觉冗余。

(3)编码冗余:如果影像的灰度在编码时所用的比特数多于表示每个灰度级所需的最少比特数,用这种编码方式得到的影像具有编码冗余。

(4)结构性冗余:由于先验知识,人们知道影像中的一部分信息就可推知另一部分信息,如某物体是关于轴对称或中心对称或该物体的一个物面的灰度是相同的,这表明影像存在结构性冗余。

(5)关注度冗余:如果观测者只对原始影像的一部分信息感兴趣,不感兴趣的

另一部分可以降低分辨率从而减少关注度冗余。

(6)时间性冗余:对于序列影像,相邻帧中同一对应点处的灰度也是相近的,存在相关性,这表明影像序列灰度存在时间性冗余。

当上述这些冗余中的一种或多种得到减少或消除时,就实现了数据压缩,其中前三种冗余是最为基本的冗余(风萨雷斯 等,2007;孙即祥,2005)。

如果 n_1 和 n_2 分别代表一幅影像在压缩前和压缩后所占的比特数,则压缩前影像的相对数据冗余 R_D 可以定义为

$$R_D = 1 - \frac{1}{C_R} \quad (2-1)$$

式中, C_R 通常称为压缩比,定义为

$$C_R = \frac{n_1}{n_2} \quad (2-2)$$

对于 $n_1 = n_2$ 的情况, $C_R = 1$, $R_D = 0$, 表示压缩前的影像相对于压缩后的影像不存在冗余数据。影像中每个像素所占的比特数称为比特率,它也是描述数据压缩技术或系统的重要性能指标。

2.1.2 影像压缩的原理和分类

1. 基本原理

综合运用减少像素间冗余、心理视觉冗余和编码冗余这三种基本冗余的技术就可以实现影像压缩系统。如图 2-1 所示,一个影像压缩系统包括两个不同的结构块,即一个编码器(压缩器)和一个解码器(解压缩器)。影像编码器包括变换器、量化器和编码器;影像解码器包括反变换器、反量化器和解码器。

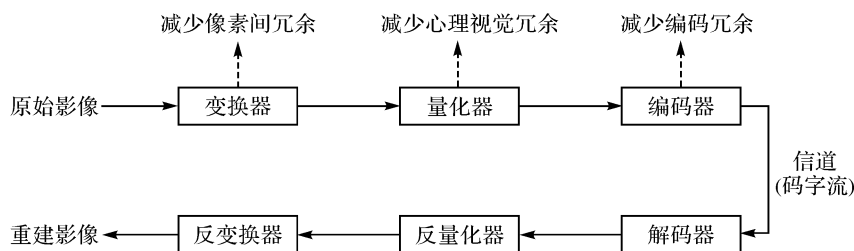


图 2-1 影像压缩系统模型

原始影像首先经过变换器处理,将原始影像在一个新的域中用另一种形式表示,改变影像数据的特性,使在变换域中的影像能用较少的像点或比特表示,或能用较少的比特数进行量化和编码,从而减少像素间的冗余。对变换器的要求是能有效压缩数据,同时信息的保真度要高。具体地讲,变换器应是高度去相关的、广义可逆的,可重建原影像,重建均方误差要小,还必须方法简单、经济实用。常用

的变换方法有傅里叶变换、离散余弦变换和离散小波变换等。然后变换后的影像经过量化器,丢弃一部分不重要的信息以降低心理视觉冗余。对量化器的要求是:在允许一定的客观误差(量化误差均方值)或主观察觉影像损伤的条件下,总的量化等级数要尽可能少,同时也应便于实现。最后影像经过编码器以减少编码冗余,得到影像数据的压缩码流。编码器的编码方式应和信号或符号的分布特性相适应,以求得较大的压缩比且增强抗干扰性。解码过程与编码过程正好相反,从而最终获得重建影像。(刘政凯,1996a;孙即祥,2005)

2. 影像压缩技术分类

影像的压缩方法有很多,可以分为经典压缩方法和现代压缩方法两大类。经典压缩方法是指出现在第一代影像压缩编码阶段(1985 年以前)的压缩方法。1948 年,贝尔实验室的奥利弗(B. M. Oliver)提出了第一个编码理论——脉冲编码调制(pulse code modulation, PCM);同年,信息论的创始人香农(C. E. Shannon)的经典论文《通信的数学原理》首次提出并建立了信息率失真函数概念;1959 年,香农进一步确立了码率失真理论。以上工作奠定了信息编码的理论基础,主要编码方法有预测编码、变换编码和统计编码,也称为三大经典编码方法。为了克服经典压缩方法压缩比小、影像复原质量不理想等弱点,Kunt 等(1985)充分利用人眼视觉特性提出了第二代影像压缩编码的概念。出现在 1985 年以后的压缩方法称为现代压缩方法。现代方法不局限于信息论的框架,充分利用了人的视觉生理、心理和影像信源的各种特征,实现从“波形”编码到“模型”编码的转变,以便获得更高压缩比,其压缩比不局限于信息论的框架,一般在 30 : 1 至 70 : 1 之间,有的甚至高达 100 : 1。现代编码方法主要有:基于分形的编码、基于模型的编码、基于区域分割的编码、基于神经网络的编码和基于小波变换的编码等(柯丽,2004)。

在经历了从以预测编码和变换编码为代表的第一代压缩技术(1985 年之前)到以充分利用人的感知特征即人眼视觉特性的第二代压缩技术(1985 年之后)的发展过程之后(刘政凯,1996b;刘恒殊,2002),一大批有效的压缩算法逐步形成并日趋完善,随之也出现了各种不同的影像压缩分类方法。

根据解码重建后的影像与原始影像之间是否完全一致来进行分类,影像压缩方法被划分为无损压缩(lossless compression)和有损压缩(lossy compression),两者又分别称为可逆编码方法(reversible coding)和不可逆编码方法(non-reversible coding)。影像的无损压缩算法去除的仅仅是冗余信息,经解码重建的影像和原始影像没有任何失真,常用于复制、保存十分珍贵的历史、文物影像等;有损压缩算法在去除冗余信息的同时也将部分有用信息删除了,因此只能对原始影像进行近似的重构,而不是精确的复原(Dezhgosha et al, 1994;刘恒殊,2002;贾永红,2003)。另外,根据编码的作用域划分,影像压缩方法分为空间域编码和变换域编码两大类(贾永红,2003)。最后,还有一种分类方法是將影像压缩方法分为固定或自适应方