

解压缩图象质量的客观评价研究*

王晓晖 朱耀庭 朱光喜

(华中理工大学电子与信息工程系, 武汉 430074)

(华中理工大学图象信息处理与智能控制国家教委开放研究室, 武汉 430074)

(华中理工大学图象识别与人工智能研究所, 武汉 430074)

摘要 指出了峰峰值信噪比 PSNR 用于图象质量评价的缺点, 提出了一个直接度量解压缩图象质量的客观指标——细节信噪比 DSNR, 它能客观反映细节信号能量和噪声对图象质量的影响。实验证明, 在相同场景中 DSNR 能较好地反映 PSNR 的变化, 因而可以用于对同一图象的不同解压缩图象以及图象序列的评价。

关键词 图象数据压缩 图象质量评价

0 引言

图象质量的客观评价一直是困扰图象工作者的一个难题, 原因是图象信号本身的建模是相当困难的, 而且对图象的主观评价也难以有一个统一的标准。在多媒体应用与通信中, 图象(或视频)信号一般都是经压缩后再进行存储或通信的, 信息宿主(人眼)实际得到的是解压缩后的图象。因此对解压缩图象的客观评价是人们非常关心的问题^[1,2]。目前普遍采用基于最小均方误差准则的峰峰值信噪比 PSNR 作为衡量解压缩图象质量的指标。虽然 PSNR 意义明确、计算简单, 但存在很大的局限性。首先, 计算 PSNR 需要原始图象作参考, 这在实际多媒体应用中是不现实的(尤其是对于图象序列), 因而 PSNR 往往只能作为评价某一压缩方法的一项重要指标。其次, 考虑运动图象序列中的帧间编码图象, 虽然可将其前一预测帧(I 帧或 P 帧)近似当作参考图象, 但是由于参考图象本身的质量下降且不稳定, 由此得到的 PSNR 也不能真正反映该帧图象的实际质量。同时由于 PSNR 对图象的相位变化敏感, 它不适用于衡量运动图象质量。近年来, 许多学者对最小均方误差准则提出了怀疑, 认为它不符合人的视觉特性, 因此出现了一些以 HVS 多通道模型为代表的感知计算方法^[3,4]。但是这些方法也都依赖原始图象, 而且计算更为复杂, 无法用于实际多媒体应用

中。所以有必要找到一种直接衡量解压缩图象质量的客观指标, 要求它尽量符合人眼的主观评价。

图象数据的压缩方法多种多样, 但就对图象质量的影响而言, 主要给图象带来了两种失真: 一是由于量化(时域、频域等)引入的量化噪声, 二是平滑处理引起的模糊失真, 它们能引起图象细节信号的丢失, 主观上导致了图象清晰度的降低。我们认为, 影响图象清晰度的因素主要有两个: 细节信号的丰富程度和噪声的干扰。本文着重从这两个方面研究图象质量的客观评价, 并给出了一种综合上述两方面的度量指标——细节信号噪声比(DSNR)。

1 图象的细节信号能量与图象质量

假定图象 $f(x, y)$ 在小的局部区域中是平稳的并且可以用下述模型来描述^[5]:

$$f(x, y) = m_f(x, y) + \sigma_f(x, y)w(x, y) \quad (1)$$

式中 $m_f(x, y)$ 和 $\sigma_f(x, y)$ 分别表示该图象在小区域中的局部均值和标准差, $w(x, y)$ 是一个具有零均值单位方差的高斯白噪声。对于 $(2M+1) \times (2M+1)$ 大小的区域

$$m_f(x, y) = \frac{1}{(2M+1)^2} \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M f(x+i, y+j) \quad (2)$$

$$\sigma_f^2(x, y) = \frac{1}{(2M+1)^2} \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M$$

* 本文研究受国家自然科学基金(No. 69672014)和国家“九五”重点科技项目(No. 96-743-01-06-03)资助

收稿日期: 1999-02-04; 收到修改稿日期: 1999-06-29

$$[f(x+i, y+j) - m_f(x, y)]^2 \quad (3)$$

$m_f(x, y)$ 反映了该区域的平均亮度, $\sigma_f^2(x, y)$ 则反映了该区域中细节信号的丰富程度。定义

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{m \times n} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sigma_f^2(x, y) \quad (4)$$

为图象的细节信号的平均能量, 其中 m, n 分别为图象的宽度和高度。下面的实验说明了 σ_f^2 与图象质量的关系。

图1是4幅对Lenna图象经JPEG方法编解码后的图象, 随着压缩倍数的增加其主观质量是下降的。表1前两列数据列出了这4幅图的PSNR及 σ_f^2 , 其中 $m=n=256, M=1$, 下同。可以看出, PSNR与 σ_f^2 的变化基本一致, 因而细节信号的平均能量大致能够反映对同一图象进行压缩后的不同解压缩图象的质量。也就是说, σ_f^2 可以作为度量解压缩图象质量的一个粗略指标。



图1 Lenna图的4幅JPEG解压缩图象

表1 图1(a)-(d)各图象的PSNR与DSNR对照表, $k=0.46$

	PSNR	σ_f^2	σ_g^2	σ_h^2	σ_v^2	DSNR
图1(a)	43.18	31.14	13.18	28.65	2.48	10.63
图1(b)	37.26	27.25	10.70	23.26	3.99	7.66
图1(c)	34.36	25.40	9.76	21.23	4.17	7.07
图1(d)	31.24	21.62	7.93	17.24	4.38	5.95

2 图象质量的客观评价指标——细节信号噪声比

噪声是导致图象质量下降的另一个重要因素。但 σ_f^2 的计算没有考虑到噪声的影响, 反而会随着噪声的增加而增加, 因此它不能正确反映噪声对图象

质量的影响, 不适合评价受外部噪声污染的图象。而在实际多媒体应用中, 从视频源获得的图象往往都已不同程度地受到噪声的污染, 而且图象压缩本身就是一个噪声污染的过程, 引入的噪声也是影响图象质量的一个重要方面。因此, 将 σ_f^2 作为评价指标是片面的, 有必要从解压缩图象中估算出噪声能量, 与细节信号能量一起构造一个更加全面、更加可靠的图象质量评价指标。

假定图象受到的总噪声是加性白噪声, 即

$$f(x, y) = m_f(x, y) + \sigma_g(x, y)w(x, y) + \sigma_v(x, y)v(x, y) \quad (5)$$

其中 $v(x, y)$ 也是零均值单位方差的高斯白噪声,

$\sigma_g(x, y)$ 和 $\sigma_v(x, y)$ 分别为小区域中细节信号和噪声的标准差。进一步假定 $w(x, y)$ 与 $v(x, y)$ 不相关, 则

$$\sigma_f^2(x, y) = \sigma_g^2(x, y) + \sigma_v^2(x, y) \quad (6)$$

类似 σ_f^2 , 定义 σ_g^2 和 σ_v^2 分别为图象的细节信号和噪声的平均能量, 显然

$$\sigma_f^2 = \sigma_g^2 + \sigma_v^2 \quad (7)$$

σ_f^2 可由(4)式计算, 但是要从 σ_f^2 中分离出 σ_g^2 和 σ_v^2 是相当困难的, 还需要进一步的先验知识。研究表明, 边缘是一幅图象最重要的信息, 也是细节信号的重要组成部分^[6,7], 因而从边缘信息估算细节信号是一条可行的途径。边缘不同于噪声信号, 它是有方向性的, 可以通过各向异性滤波器来提取。考虑到方块效应可能对边缘算子产生的干扰, 我们用 45° 、 135° 两个归一化边缘算子(记为 E_1 和 E_2)分别作用于解压缩图象, 相加后得到边缘图象 $e(x, y)$, 即

$$e(x, y) = E_1(f(x, y)) + E_2(f(x, y)) \quad (8)$$

定义

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{m \times n} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n e^2(x, y) \quad (9)$$

为 $e(x, y)$ 的平均能量。通过对一系列标准图象的实验和统计发现, σ_e^2 通常占实际细节信号能量 σ_g^2 的 30%—60% (对于非压缩原始图象, $\sigma_g^2 = \sigma_f^2$), 比值 σ_e^2 / σ_g^2 与图象的基本内容有着密切关系, 对于相同场景的图象该比值近似为一常数。图 2 是标准序列图象 Miss American 中的其中 4 帧, 图 3 是比值 σ_e^2 / σ_g^2 的分布图, 其中 $\sigma_g^2 = \sigma_f^2$, σ_e^2 由(8)、(9)式计算, 算子 E_1 、 E_2 分别为:

$$\begin{bmatrix} 1/6 & -1/6 & -1/6 \\ -1/6 & 4/6 & -1/6 \\ -1/6 & -1/6 & 1/6 \end{bmatrix} \text{ 和 } \begin{bmatrix} -1/6 & -1/6 & 1/6 \\ -1/6 & 4/6 & -1/6 \\ 1/6 & -1/6 & -1/6 \end{bmatrix},$$

下同。显然图中 σ_e^2 / σ_g^2 基本保持不变, 可近似用一常数 k 表示。因而 σ_g^2 可由下式估算:

$$\sigma_g^2 = \sigma_e^2 / k \quad (10)$$

有了 σ_g^2 就能由(7)式算出 σ_v^2 。类似于 PSNR, 定义细节信号噪声比(Detail Signal Noise Ratio, DSNR)为:

$$\text{DSNR} = 10 \times \log(\sigma_g^2 / \sigma_v^2) \quad (11)$$



图 2 4 帧 Miss American 图象

为了计算 DSNR, 首先必须知道 k 。由于 k 主要取决于图象的基本内容, 对于某一具体应用(如视频会议接收端的图象质量评价), 可以事先给这一类图象建立先验知识 k , 或者在传送序列图象之前先传送几幅非压缩标准图象, 用统计的方法确定 k 值, 然

后再根据 k 计算其他图象的 DSNR。表 1 列出了图 1(a)–(d) 的 DSNR 的计算结果以及与 PSNR 的对照, 其中 $k = 0.46$ 。显然, DSNR 能较好地反映 PSNR 的变化。由于它同时考虑了细节信号和噪声的因素, 因而可以作为度量解压缩图象质量的一个

比较可靠的指标。在大多数实际应用中,需要比较的是同一类图象的不同解压缩图象,我们关心的是图象间的 DSNR 的相对关系。在这种情况下 k 值的选取不必十分精确,而可以用一个相对粗略的值来代替(如对视频会议图象,可选 $k=0.42$)。实验表明,图象间 DSNR 的相对关系对 k 值的小范围变化不太敏感。表 2 是对图 1(a)~(d)用不同 k 值计算的 DSNR。虽然 DSNR 随着 k 值的增大而减小,但各图象间 DSNR 的相对关系基本保持不变,不影响它们之间的质量比较。

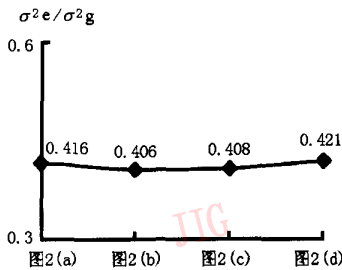


图 3 图 2(a)~(d)各图象的 σ_e^2/σ_g^2 分布图

表 2 用不同 k 值计算的 DSNR

k	图 1(a)	图 1(b)	图 1(c)	图 1(d)
0.44	13.33	9.19	8.38	7.00
0.45	12.00	8.36	7.67	6.44
0.46	10.63	7.66	7.07	5.95
0.47	9.56	7.06	6.52	5.50
0.48	8.73	6.53	6.03	5.10

3 结 论

本文从细节信号和噪声的角度探讨了解压缩图象质量的客观评价。在没有原始图象作参考的情况下,证实了细节信号能量 σ_e^2 可以作为衡量解压缩图象质量的一个粗略指标,同时提出了一个更加全面



朱熿庭 1939年生,教授,博士生导师,中国通信学会会士,1960年毕业于华中工学院无线电工程系。长期从事通信与电子系统方面的科研工作,已主持完成国家自然科学基金、部委基金和“九五”国家重点攻关项目十余项,其中多项成果为国内首创并达到国际先进水平,发表学术论文 100 余篇。

可靠的度量指标——细节信噪比 DSNR。 σ_e^2 计算简单,但是对噪声敏感,其指标特性会随着噪声的污染而恶化。DSNR 兼顾了 σ_e^2 和噪声,实验证明 DSNR 能较好地反映 PSNR 的变化,因而可以作为衡量解压缩图象质量的一个客观指标。由于计算 DSNR 需要知道参数 k ,其值取决于图象的基本场景和内容,因此 DSNR 尤其适用于相同场景中解压缩图象质量的评价。

参 考 文 献

- Jacobson R E, Ford A M, Attridge G G. Evaluation of the effects of compression on the quality of images on a soft display. In: Proc SPIE, 1997,3016:114~125.
- Uys N J, Herbst C P, Lotter M G *et al.* Evaluation of a numerical observer to determine the influence of JPEG data compression on the diagnostic quality of computed tomography images. In: Proc SPIE, 1997,3031:738~748.
- Eskicioglu A M, Fisher P S. Image quality measures and their performance. IEEE Trans Comm, 1995,43(12):2959~2965.
- Westen *et al.* Perceptual image quality based on multiple channel HVS model. In: ICASSP-95, Detroit, Michigan, USA, 2351~2354.
- 王延平. 信号复原与重建. 南京:东南大学出版社,1992.
- Ran Xiaonong, Farvardin N. A perceptually motivated three-component image model——Part I:Description of model. IEEE Trans IP, 1995,4(4): 401~405.
- Namuduri Kameswara R, Murenzi Romain, Kaplan Lance M. Scale-based approach for image quality evaluation. In: Proc SPIE, 1998,3308:36~43.



王晓晖 1971年生,1993年、1996年分别在华中理工大学电子与信息工程系获学士和硕士学位,现为该系博士研究生。主要研究方向为多媒体信息处理及 CSCW。已在国内重要学术刊物发表论文多篇。



朱光喜 1945年生,教授,博士生导师,1969年毕业于华中工学院无线电工程系。近十年来从事图象处理及多媒体方面的应用研究,已完成多项国家自然科学基金、部委基金和“九五”国家重点攻关项目,发表学术论文 70 余篇。

Evaluation of Decompressed Image Quality

Wang Xiaohui, Zhu Yaoting and Zhu Guangxi

(Department of Electronic & Information, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

Abstract The disadvantage of PSNR, the most common objective measure to evaluate the decompressed images, is pointed out. A new measure named DSNR (Detail SignalNoise Ratio) is therefore proposed. DSNR can be calculated by abstracting energy of detail signal and noise. Using DSNR, the quality of decompressed images can be directly measured without the original (uncompressed) images. Our experiments show that DSNR of different images in the same scene changes congruously with PSNR, thus can be used to evaluate the quality of decompressed images and image sequences.

Keywords Image compression, Image quality evaluation

国产地理信息系统软件 1999 年度测评揭晓

受科技部高新技术发展与产业化司及国家遥感中心委托,由科技部“九五”重中之重“3S”专家委员会、中国地理信息系统协会和中国海外地理信息系统协会共同组织的 1999 年度国产 GIS 软件测评于 10 月 26 日顺利结束。测评专家委员会由 28 名专家组成,其中包括来自境外的华人学者 4 人。参加本次测评的软件共 40 个,其中基础软件平台 5 个、应用开发平台 2 个,专项软件、应用软件 33 个,是历年来规模最大的一次。

GIS 软件技术是一类军民两用技术,广泛用于资源、环境、电力、交通、通讯、测绘、农业、建设、航空航天和军事等各行各业,对国民经济发展和国防现代化有着十分重要的作用。发展自主的 GIS 软件产业,列入了国家“九五”重中之重科技攻关计划,受到了科技部领导的重视,已经成为全社会的共识。在科技部的大力推动下,经过 4 年的科技攻关,我国的 GIS 软件技术及产品取得了长足的进步,一批 GIS 软件企业在市场博杀中脱颖而出,改变了国外软件一统天下的局面。在复杂的国内外形势下举行的这次测评,即是对我国 GIS 软件的一次检阅,也是一场爱国主义教育的课堂。

本次测评有以下几个新的特点:

(1) 一批国内骨干信息技术企业(如北大方正、东大阿尔派等)参加测评,进军 GIS 市场,为我国的 GIS 软件产业增添了新的活力。

(2) 测评工作更加规范,其中基础平台测试采取“四定”(定试题、定数据、定标准结果、定设备配置)方法,使得(国内外)软件之间在功能、性能上具有可比性,试题覆盖 GIS 基础软件的全部功能,大数据量(1.2G),难度较以往有很大的提高,相当一批国外软件无法完成本次测评的全部试题;应用软件测评制定相对完整的分领域测评大纲,突出应用模型的考核和评价,强调软件的应用性和可靠性。使测评的科学性显著提高。

(3) 在考核软件技术水平的同时,考核商品化程度、市场规模、技术支持能力、开发规范和质量保证体系等,强调产品的持续发展能力。

(4) 国产软件积极使用 IT 新技术,走技术创新和跨越的道路。代表 GIS 发展新方向的 InternetGIS、组件化 GIS、空间、属性数据一体化存储、多用户协同工作等技术已经走向产品,技术创新和市场开拓实现了良好的互动。

(5) 广大技术人员爱国热情高涨、振兴民族产业决心大,信心足。把远大的爱国主义目标和踏实努力的实事求是作风紧密地结合起来,精神面貌令人鼓舞。

测评结果表明,国产 GIS 软件水平在过去的一年里有了很大的提高。国产优秀的 PC/GIS 基础软件在功能和性能方面已经全面接近国外同类优秀软件,甚至在某些方面明显高于后者。例如,在大数据量缓冲计算方面,MapGIS 比国外同类软件快 14 倍;在处理数字高程模型方面,GeoStar 在实用性方面明显优于国外软件;在网络分析、地图出版等方面亦有优势。在专用软件和实用软件方面,EFGIS 在电力配线应用的技术上比国外软件有明显的优势;Geo TIN & Geo Grid 已在测绘领域全面使用,替代国外软件;GEOSCAN 和 ESPCAN2000 及国内其它同类软件已经占领了国内地图扫描录入的大部分市场;“方正智绘”和 MAPCAD 基本上占领了国内地图轻印刷市场,开始向大型出版市场进军;在电信、城市建设与管理等领域,市场格局也发生了有利于国产软件的变化。我国 GIS 软件产业的发展迎来了一个新的阶段。

通过测评,涌现出一批技术先进、运行可靠、有相当市场份额的国产优秀软件。测评专家委员会经过认真、反复的讨论,认为:

(下转第 1050 页)