

# 图象质量评价方法的历史、现状和未来

魏政刚 袁杰辉 蔡元龙

(西安交通大学图象所,西安 710049)

**摘要** 图象压缩可以看作是在码率和图象质量视觉感知失真之间的一种折衷。图象质量视觉感知失真的正确评价直接关系到图象压缩编码算法的设计与优化。传统的图象质量评价方法不能有效地反映出对人眼对图象失真的视觉感知。由于人眼是最终的信息接收者,我们在人眼视觉模型(HVS)的基础上建立了通用的评价模型,并采用了B样条小波、误差分割等技术,来反映人眼在二维随机域上幅度非线性衰减、二维视觉敏感度带通和视觉多尺度多方向性的特点。图象质量评价将向视觉生理心理试验、HVS模型的简化及通用模型的推广三个方向发展。

**关键词** 图象质量评价, MSE, 视觉感知, HVS, 误差分割

## 1 引言

随着数字图象压缩编码技术的迅猛发展,人们越来越认识到,图象压缩可以看作是在码率和图象质量视觉感知失真之间的一种折衷,图象压缩算法的设计,应该依赖于上述两个因素而不仅仅是压缩比。因此,对图象失真度的正确评价在图象处理领域中显得极为重要。

评价一个算法的优劣,归根结蒂可以由图1所示的模型来表示:

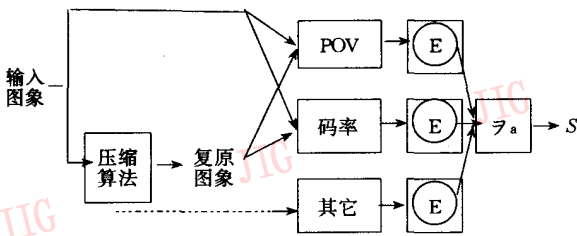


图1 图象压缩算法优劣评价模型

图中PQV就是图象质量评价;圆框里的E表示求均值;与PQV和码率相对应的其它表示算法空间、时间复杂度等其他因素; $T_a$ 表示对图象质量评价、码率和其他因素进行泛函数运算得到的算

法优劣指标S。我们集中讨论PQV,探讨它的历史、现状及未来。

## 2 传统图象质量评价方法的缺点

基于对随机误差进行统计平均的客观评价方法,源于数据传输过程中均方信噪比的思想。代表性的方法有MSE(均方误差),PSNR(峰值信噪比)和WMSE(加权均方误差)。采用二范数测度的失真测量<sup>[1]</sup>,传统的客观评价方法可以表示为:

$$d(x_1, x_2) = \|x_1 - x_2\|^2 = \sum (x_1 - x_2)^2$$

$$S = \frac{E\{\|f - f'\|^2\}}{E\{\|f\|^2\}} \quad (1)$$

在工程中将图象看为平稳遍历的二维随机过程,认为集平均等于空域中的平均,有:

$$S = \frac{\sum \{\|f - f'\|^2\}}{\sum \{\|f\|^2\}} \quad (2)$$

具体的计算可以在频域上进行,也可以在时域上进行。在频域上,有:

$$S = \frac{\sum \{\|F(u, v) - F'(u, v)\|^2\}}{\sum \{\|F(u, v)\|^2\}} \quad (3)$$

较早提出的单变量频域方法不计算原图和恢复图之

• 国家自然科学基金资助项目

收稿日期:1997-02-24;收到修改稿日期:1997-10-10

间的差, 仅计算被评价图象, 如下式:

$$S = \frac{\sum \{ \| F'(u, v) \|^2 \}}{\sum \{ \| F(u, v) \|^2 \}} \quad (4)$$

时域上的均方计算方法有式(5)和式(6):

$$S = \frac{\sum \{ \| f(m, n) - f'(m, n) \|^2 \}}{\sum \{ \| f(m, n) \|^2 \}} \quad (5)$$

$$S = \frac{\sum \{ \| f(m, n) - f'(m, n) \| \}}{MNA^2} \quad (6)$$

MSE 及 WMSE 的计算基于式(5), PSNR 的计算基于式(6)。传统的客观图象质量评价方法没有考虑到人的视觉感知特性。因此, 它并没有真正的反映出观察者对图象失真的视觉感知。

具有代表性的主观评价方法是 MOS(主观质量评分)。它有 2 类度量尺度, 即绝对性尺度和比较性尺度。打分的一般步骤是先用某些原始标准图象建立起质量等级标准, 然后由观察者观看被评价的图象, 并与标准图象质量等级作比较, 得出被评价图象的等级, 最后对试验者的打分进行规一化平均。表 1 给出了绝对性尺度的一个例子, 表 2 给出了比较性尺度的一个例子:

表 1 绝对性尺度

5	优
4	好
3	中
2	差
1	劣

表 2 相对性尺度

5	一群中最好的
4	好于该群平均水平的
3	该群平均水平
2	差于该群平均水平的
1	一群中最差的

图象的主观评价方法往往过分地受到观察者本身的知识背景、情绪、动机以及疲劳程度等因素的影响, 并且从工程的角度来看, 此种方法太过于费时费力。因此在图象压缩算法的设计中, 传统的主客观评价方法都不能满足图象质量评价的要求<sup>[1,2]</sup>。

### 3 图象质量评价方法的新进展

近 10 年来优秀的压缩算法层出不穷。从 90 年代以来 JPEG, MPEG<sup>[3,4]</sup>, 零树<sup>[5]</sup>, 子带变换的图象压缩编码技术<sup>[6]</sup>, CREW 等等, 这些编码方案从以往单纯注重码率转为现在的码率和图象质量两方面的注重。与此同时, 图象质量评价方法的研究也进入了一个新阶段, 从以往的物理学意义上简单的误差统计转为结合人视觉感知特性的误差统计方法。

新方法的显著特征在于它们是在人眼视觉模型(HVS)图 2 基础上建立的:

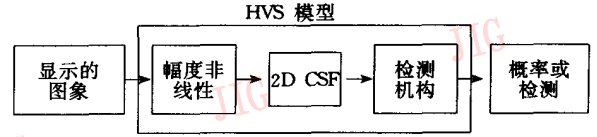


图 2 HVS 模型

HVS 模拟了视觉感知的 3 大特性: 幅度非线性衰减(及 Weber 定律), 二维视觉敏感度带通(MTF 过程), 视觉多通道及掩盖效应, 它们也就是与图象质量相关的主要特性。简单起见, 我们根据图 3.2 的 HVS 模型得出了一个基于视觉感知的图象质量评价公式:

$$PMSE = \gamma(F, A, N, CSF, Detection, P-P \text{ Function}) \quad (7)$$

为简便起见, 转化为以下 3 个呈级联关系的函数:

$$\begin{aligned} &\gamma 1[\sigma_1^2]: \text{幅度非线性} \\ &\gamma 2[\sigma_2^2]: \text{CSF} \\ &\gamma 3[\sigma_3^2]: \text{检测} \\ &\sigma_i^2 = \| f(m, n) - f'(m, n) \|^2 \quad (8) \end{aligned}$$

于是基于视觉感知的通用的图象质量评价模型为图 3, 其中的  $\gamma 1$  代表了式(7)中的  $\gamma 1[\sigma_1^2]$ , 是对视觉幅度非线性衰减特性的模拟;  $\gamma 2$  代表了式(7)中的  $\gamma 2[\sigma_2^2]$ , 是对二维视觉敏感度带通特性的模拟;  $\gamma 3$  代表了式(7)中的  $\gamma 3[\sigma_3^2]$  是对视觉检测特性的模拟。此 3 者之间是级联关系, 它们受到视觉心理生理试验结论(由视觉心理生理函数代表)的制约。SPE 代表了图象分割, MRA 是多重自回归分析。PMSE 是计算出的图象压缩算法的优劣指标。

基于 HVS 模型本身的复杂性, 研究者往往探讨某一种类型的失真测量。例如 S. Karunasekera & N. Kinsbery 建立了针对块化效应的失真测度。这种损伤常见于矢量量化和 DCT 编码中。S. Karunasekera 先对人工合成的测试图象进行了主观试验, 通过调整 4 个参数: 边缘幅度, 边缘长度, 背景亮度和背景活动性, 测出边缘损伤的视觉灵敏度, 并建立了一个视觉模型。在对实际自然图象的检测中, 作者设计了一些相同 MSE 但方块结构分布不同的图象, 模型预测和主观测试吻合得很好, 同时表明 MSE 不是一个好的测度。

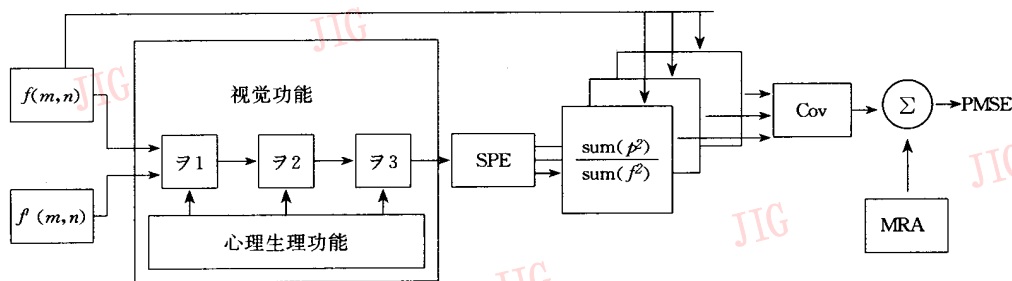


图3 基于视觉感知的通用的图象质量评价模型

大量的研究试验<sup>[1,3,7]</sup>表明不同类型的视觉感知误差信号对人眼的视觉敏感度大不一样。Wen Xu & G. Hauske 提出了基于误差分割 (SEM, Segmentation-based Error Measure) 的评价方法<sup>[7]</sup>。其基本思想是将误差根据视觉感知差异分为3类:表示边缘的误差,表示奇异性的误差以及除此之外的剩余误差。分割依据原始和恢复图象中的局部活动性来进行。其流程为:原始和恢复图象分别经过伽码变换和视觉预处理,相减得出误差信号,然后对此误

差信号进行分类,分别对不同种类的误差进行视觉掩盖效应等处理,得出3类误差的各自总和,最后与MOS进行回归分析。试验表明,相关系数 SEM/MOS 为 0.875,比 PSNR/MOS 的 0.653 好许多。

M. Miyahara, K. Kotani & V. Algazi 等经过多年研究,综合考虑了视觉特性和误差的结构与分布特性,提出了编码图象的质量尺度<sup>[8]</sup>。其过程为如图4所示:

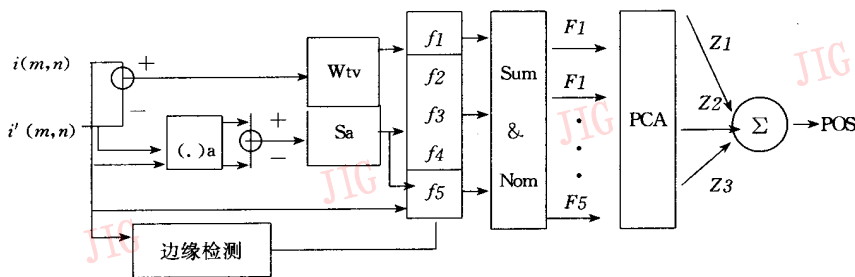


图4 PQS的计算

先对误差信号进行预处理,再对误差信号分类,计算不同种类的失真因子。通过主分量 (PCA) 的分析,去掉失真因子间的相关,得到相关矩阵及特征值。误差信号的能量集中在3个最大的特征值上。通过多重回归分析,得出与主观测试结果相当吻合的结果。该算法 PQS 与 MOS 的相关系数为 0.928。M. Miyahara 基本上考虑了视觉感知特性,遗憾的是,他对视觉多通道仅仅用一个两方向带通滤波器来简单模拟。并且 PQS 的误差分割方法是基于 JPEG 编码方案而提出的,效果并不令人满意。

题。如前所述,Wen Xu & G. Hauske 提出的误差分割方案较好地解决了这个问题。图象质量评价中可将误差大致分为:块化效应,结构关联噪声,伪轮廓,振铃效应,边缘模糊,颗粒噪声,平坦区随机噪声等<sup>[3,7]</sup>等。但不同的图象内容中不同的噪声很可能因其特性的不同而导致划分的差异。因此寻找通用有效的误差分割方法极为必要,我们在研究中采用了水平垂直滤波器和误差信号的相关分析等方法来分割误差。计算得到 PMSE 和 MOS 的相关系数达 0.937,明显优于 MSE 和 MOS 的相关系数的绝对值 0.653。

视觉心理学专家研究表明人眼的感知具有方向性和多尺度的特点<sup>[9]</sup>,大量的视觉心理生理学试验也证明这个结论<sup>[2,9]</sup>。我们认为,小波是目前能够模拟人眼感知方向性和多尺度特性的最佳数学工具。尤其是 B 样条小波,可以用来构造方向可调的多尺度滤波器组,实现任意尺度、任意方向的分解。我们用它对误差信号进行处理。

#### 4 图象质量评价研究的展望

如前所述,信息技术的飞速发展和以往对图象质量评价的忽视使得对此领域的研究方兴未艾。我们认为今后的发展方向为以下几个方面:

误差分割 SPE 是图象处理领域里的经典性问

首先是视觉感知生理心理学试验的进展。这是

图象质量评价研究中基础性的研究,无论是 HVS 模型还是通用 PQV 模型,均是建立在此基础上的。60 年代大量的试验<sup>[4]</sup>在今天还启发着人们的思维,最新的试验<sup>[2]</sup>例如 JND 以及游标试验表明人们对自已视觉感知的认识还很贫乏。其次是对 HVS 模型的再研究。成熟的 HVS 模型(图 2)的复杂性使得我们不能找到一个解析表达式来模拟人眼的视觉过程。而通用的评价模型却要求计算象 MSE 一样简单。这要求我们充分考虑视觉生理心理试验的成果,利用最新的数学工具进行不懈的研究。最后是评价方法向彩色、运动图象的推广。

### 参考文献

- 1 吴成柯. 图象通信. 西安:西安电子科技大学出版社, 1994.
- 2 Hu QingMin James. Spatial and Temporal Masking in Human Vision, 1995.
- 3 高文. 多媒体数据压缩技术. 北京:电子工业出版社, 1994.
- 4 Lewis N W, Allnatt J A. Subjective quality of television pictures with multiple impairments. Electronic Letters, 1965, 1.
- 5 Said A, Pearlman W A. A new, fast, and efficient image codec

based on set partitioning in hierarchical trees, IEEE.

- 6 马维祯. 利用子波变换的图象压缩编码技术. 信号处理. 1995, 11 (4).
- 7 Wen Xu, Hauske G. Picture quality evaluation based on error segmentation, 1994, SPIE 2308: 1454~1465.
- 8 Algazi V R, Kato Y. Comparison of Image coding Techniques with a Picture Quality Scale, Applications of Digital Image Processing XV, 1992, SPIE 1771.
- 9 格列高里 R L. 视觉心理学. 北京:北京师范大学出版社, 1986.
- 10 Kuan Hui, Mohammad Ghanbari. Layered Image Coding Using the DCT Pyramid. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4.



**魏政刚** 1995年毕业于西安交通大学,获工学学士学位,同年开始在该校图象处理与模式识别研究所攻读硕士及博士学位。所感兴趣的研究领域有:数字信号处理、图象压缩与编码及模式识别。目前已与同事合作发表论文 4 篇。

## The History, Status and Future of Image Quality Evaluation

Wei Zhenggang, Yuan Jiehui, Cai Yuanlong

(The Image Processing Center of Xi'an Jiaotong University, Xian 710049)

**Abstract** Image compression could be regarded as a compromise between the bit ratio and perceptual distortion. Image quality evaluation plays a very important role in the design, optimization and evaluation of an image compression algorithm. Classical image quality evaluation methods such as MOS, MSE and PSNR can not represent distortion perceived by human eyes. New measurements are based on HVS (Human Visual System). They are generally defined as a function of Amplitude Non-linearity, CSF, Detection Mechanisms. We build a general evaluation model on HVS by B spline wavelet and error signal segmentation technology. The future of image quality evaluation will be directed to psychology and physiology experiments, the simplification of HVS and generalization of evaluation model.

**Keywords** Image quality evaluation, MSE, Visual perception, HVS, Signal segmentation