

关于图象质量评价指标 PSNR 的注记

李红蕾, 凌 捷, 徐少强

(广东工业大学 计算机学院, 广东 广州 510090)

摘要: 图象质量评价技术在图象隐藏、数字水印、图象通信、图象压缩等领域有重要的应用. 本文分析了常用的图象评价指标峰值信噪比(PSNR)的优缺点, 指出了一些学者在使用 PSNR 时的错误, 并介绍了图象质量评价技术的最新研究进展状况, 指出了图象质量评价研究的新的发展方向, 对图象质量评价的研究有一定的理论意义和实用价值.

关键词: 图象质量; 峰值信噪比; 均方误差; 人眼视觉系统

中图分类号: TP391. 41

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2004)03-0074-05

在图象隐藏与数字水印技术中, 嵌入了信息或水印的图象与原始图象在视觉效果上的会有微小差异; 在图象压缩、图象重建和图象通信过程中, 通常要经过采集、传输、处理、记录等过程, 处理后的图象与原始图象也有差别. 如何评价这些图象的变化, 就是图象质量评价的主要内容. 数字图象的质量主要包括两个方面: 图象的逼真度和图象的可懂度. 如何合理地评价图象质量, 不仅是图象信息工程的核心问题之一, 也是模式识别、信息安全等领域不能回避的重要问题.

1 关于图象质量评价指标峰值信噪比(PSNR)

传统的图象质量的评价方法一般可以分为两种^[1]: 主观评价和客观评价. 主观评价的方法是召集一批实验观察者, 让观察者根据一些事先规定的评价尺度或者自己的经验, 对测试图象按视觉效果提出质量判断, 并给出质量分数, 按所有观察者给出的分数进行加权平均, 所得的结果即为图象的主观质量评价. 因为图象的最终归宿是人, 所以这种评价方法似乎更为可靠. 但由于操作要求过于复杂, 且存在不确定性, 如受人的心情、疲劳程度的影响等, 在实际应用中受到严重限制, 甚至根本不适合于某些应用场合. 客观评价方法是用被测图象偏离原始图象的误差来衡量被测图象的质量, 其思想来源于数据传输过程中均方信噪比的思想. 常用的作为客观评价指标的参数有均方误差(MSE)和峰值信噪比(PSNR)等.

峰值信噪比 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio), 有些文献中也称为峰—峰信噪比的定义如下^[2]: 给定一幅大小为 $M \times N$ 的数字化图象 $f(x, y)$ 和参考图象 $f_0(x, y)$, 则图象 f 的 PSNR 为

$$\text{PSNR} = 10 \lg \frac{f_{\max}^2}{\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x, y) - f_0(x, y)]^2}, \quad (1)$$

引入另一常用质量评价指标均方误差 MSE, 其中 MSE 的表达式为

收稿日期: 2003-07-01

基金项目: 广东省教育厅“千百十”人才基金项目(200017)

作者简介: 李红蕾(1981-), 女, 在读研究生, 主要研究方向为网络安全.

$$\text{MSE} = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x, y) - f_0(x, y)]^2}{MN}, \quad (2)$$

则

$$\text{PSNR} = 10 \lg \frac{f_{\max}^2}{\text{MSE}}. \quad (3)$$

其中 f_{\max} 是函数 $f(x, y)$ 的最大灰度值,例如,常用的 8bit 的灰度图象中,则 f_{\max} 的最大值为 255.

而在彩色数字图象中,由于图象的颜色用 RGB 3 基色的组合表示,每个颜色分量需用一个字节表示,于是相应的峰值信噪比可以表示为

$$\text{PSNR} = 10 \lg \frac{255^2}{(\text{MSE}(R) + \text{MSE}(G) + \text{MSE}(B)) \cdot 3}, \quad (4)$$

3 个变量 $\text{MSE}(R)$, $\text{MSE}(G)$, $\text{MSE}(B)$ 分别为 3 个基色分量的均方差.也有人将式(4)称为彩色图象的平均峰值信噪比,因为上式等价于

$$\text{PSNR} = (\text{PSNR}_R + \text{PSNR}_G + \text{PSNR}_B) \cdot 3. \quad (5)$$

其中 PSNR_R , PSNR_G , PSNR_B 分别为图象的 R、G、B 帧的峰值信噪比.

MSE 与主观评价的相关性较差,其结果常常与人的主观感觉不一致,因此一般不直接作为图象质量评价指标,大多数情况下是采用 PSNR 做为图象质量评价指标,其优点是便于计算和理解,能大致反映图象质量.一般情况下,PSNR 的值高的图象质量相对较高,通常,当 PSNR 值在 28 以上时,图象质量差异不太显著,当高于 35 ~ 40 时,则肉眼分辨不出差异.

PSNR 是目前用于图象质量评价的最常用的指标,被错用的情形也不少.如文献[3]中,将 256×256 的 8 位灰度图象的 PSNR 被定义为 $10 \lg \frac{256 \times 256}{\text{MSE}}$;文献[4]中对 $N \times N$ 的 8 位灰度图

象,取 $\text{PSNR} = -10 \lg \frac{N \times N}{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x}_i)^2}$ 均是错误的.前者混淆了图象大小与像素点的灰度值,实

际上 8bit 灰度图象 $f(x, y)$ 的灰度最大值只能为 $2^8 - 1 = 255$; 后者的公式则完全是错误的. PSNR 的误用大多数表现在对公式内参数意义的理解上,特别是用在 256×256 的 8 位灰度图象上.

2 图象质量评价标准发展方向

PSNR 目前仍是最常用的图象质量评价标准之一,但是,在实际应用过程中,PSNR 有时反映图象质量与人眼观察的图象质量情况并不完全相符.例如文献[5]的实验表明,在同一幅图象中分别在图象高频部分、中低频部分、低频部加入白噪声干扰时,在高频部分加入干扰时图象质量优于其它两种情况,但三者的峰值信噪比相同.这使得许多人有理由认为 PSNR 并不是一个很好的图象质量评价指标,由于 PSNR 的局限性,人们仍在不断的探讨,试图找出更接近人视觉特征的评价指标.

目前新的图象质量评价标准大多数为基于人眼视觉系统(HVS)的测量方法,以期更接近人眼的主观视觉.新标准大致可以分为两类:基于视觉感知的测量方法和基于视觉兴趣的测量方法.

基于视觉感知的图象评价方法较早也较成功的有基于刚辨差(JND, Just Notice Difference)的

视觉感知方法^[3]. 由于人眼分辨亮度差异的能力与背景亮度有关, 在宽阔的常用背景亮度变化范围内, 人眼的 JND 为常数; 当背景亮度较强或较弱时, 人眼的分辨能力减弱, 即 JND 增大. 该方法基于此原理达到对图象质量定量测量的目的.

基于视觉兴趣的图象质量评价方法的思想是将图象分为感兴趣区 (ROI, Region of Interest) 和不感兴趣区, 并由感兴趣程度对其设定加权值. 整幅图象的视觉质量往往取决于感兴趣区的质量, 不感兴趣区质量的降低则影响较小. 例如, 假设测试图象中只有一个感兴趣区 A_1 , 其面积为 S_1 , 不感兴趣区 A_2 , 面积为 S_2 , 图象总面积为 $S = S_1 + S_2$. 则由此可定义一个自己的均方误差 IMSE:

$$\text{IMSE} = \frac{1}{S} \left| \lambda_1 \sum_{(x,y) \in S_1} (f(x,y) - f_0(x,y))^2 + \lambda_2 \sum_{(x,y) \in S_2} (f(x,y) - f_0(x,y))^2 \right|. \quad (6)$$

其中: λ_1 、 λ_2 分别为 A_1 和 A_2 的加权值, 并满足 $\lambda_1 S_1 + \lambda_2 S_2 = S$, 加权值 λ_1 越大, 表示人眼对该区的兴趣程度越大. 可以看出, 当 $S_1 = 0$, $\lambda_2 = 1$ 或 $S_2 = 0$, $\lambda_1 = 1$ 时, IMSE 退化为 MSE. 该方法能较好的与人眼的主观视觉相符合. 但由于图象感兴趣区的确定, 多个感兴趣区权值的确定等问题还待研究, 故该方法现在仍处于初级研究阶段.

3 其它图象质量评价方法模型示例

3.1 三维滤波视频质量评价模型

Van den Branden^[9] 等在人眼视觉系统的基础上建立了一种用于评价视频编码质量的视觉时空模型并提出了 MPQM (Moving Picture Quality Metric) 质量度量. 该模型的主要特点是用一个三维滤波器组来模拟 HVS 的多通道特性, 如图一所示. 三维滤波器模拟的过程是先把原始图象序列粗略地分割成均匀区域、轮廓和纹理, 同时使用滤波器组按照 5 种空间频率、4 种取向、2 种时间频率将原始

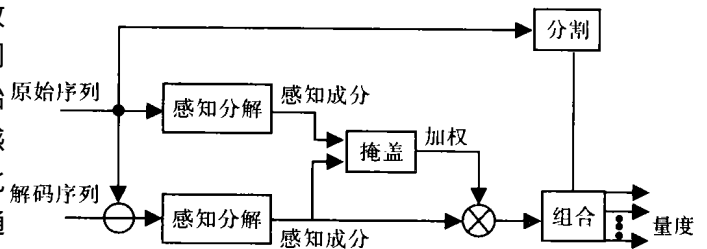


图1 三维滤波模型示意图

数据收集起来用以解释高层感知, 此过程称为组合. 最后提出了 MPQM 度量法. 考虑到注意力集中和观看距离的影响, 这种度量以三维序列块为基础进行计算, 其从本质上说, 就是用 Minkowski 求和法把通道输出的幅值结合在一起, 按照失真的程度, 予以相应的指数加权. 一个给定序列块的实际失真 E 可按下式计算:

$$E = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{c=1}^N \left\{ \frac{1}{N_x N_y N_t} \sum_{t=1}^N \sum_{x=1}^{N_x} \sum_{y=1}^{N_y} |e[x; y; t; c]|^\beta \right\}^{\frac{1}{\beta}} \right\}. \quad (7)$$

其中, $e[x; y; t; c]$ 是在位置 (x, y) 、当前块的时间为 t 、通道 c 处经掩盖的误差信号; N_x 、 N_y 和 N_t 分别表示块的水平、垂直和时间维数; N 是通道数; β 是 Minkowski 求和法的指数. 这种 MPQM 质量度量方法较全面地模拟了人眼的视觉特性, 能够在相当大的比特率范围内对视频质量做出较好的评价. 但由于频率分解而增加了算法的运算量, 计算的时间较长. 因此若想做到对视频质量进行实时评价, 还需对此模型做进一步的简化.

3.2 三维加权信噪比的视频质量评价模型

Okamoto 等^[6]提出了客观感知方法:三维信噪比(3D-SNR)方法^[6],这种方法是在考虑了视觉时空频率响应和视觉掩盖效应的基础上由普通的 SNR 形成的.时空频率特性 $W(\mu, \nu, f)$ 是由空间频率特性 $W_s(\mu, \nu)$ 和时间频率特性 $W_T(F)$ 相乘而得

$$W_s(\mu, \nu) = 2.46(0.1 + 0.25f) \exp(-0.25f), \quad (8)$$

$$W_T(F) = 0.134 \times [1 + (F/0.5)] / [1 + (F/7.8)^2]^{1.2}. \quad (9)$$

式中 $f = (\mu^2 + \nu^2)^{1/2}$, μ 是水平空间频率, ν 是垂直空间频率,单位均是 c/d (周/度), F 是时间频率,单位是 Hz. 是由于 W_s 与 W_T 都近似符合 HVS, 因此三维加权信噪比模型比起其他模型更易理解, 算法也比较简单. 依据三维信噪比的模型进行计算机模拟实验的结果表明, 客观测试指标与原有的物理信噪比相比, 其与主观评价结果的相关性有显著提高.

3.3 基于图像分割的模型

Pessoa^[7]等经过多年的研究, 提出了基于图像分割的客观参数视频质量评价方法, 该模型的最大特点是每个客观参数在平坦区, 纹理区和边缘区中分别计算. 其主要思路如下: 首先利用分割算法把图像分为平坦区, 纹理区和边缘区, 为每个区计算一套客观参数; 然后通过确定客观参数与一些已得到的主观评价结果的关系, 提出一个基于感知的模型; 由该感知模型, 就可以预测序列的主观评分了.

该感知模型分两步定义:

1) 每个客观参数和主观损伤等级之间的关系近似为 \log 曲线, 这样就为每个参数得到一个估计的损伤等级. 设客观参数为 D , 对应于 D 的归一化损伤等级为 d_D , 对 d_D 的估计值为 \underline{d}_D , 因为 d_D 和每个客观参数 D 之间近似为对数关系:

$$d_D = \frac{1}{(1 + (D_M/D)^G)} \times 100\%, \quad (10)$$

其中, D_M 和 G 的选择应该最小化:

$$e = E[\{d_D - \underline{d}_D\}^2]. \quad (11)$$

由此, 可以得到对应于每个 D 的 d_D .

2) 最终的评价结果由各分区的估计损伤级别经三步线性组合逐步得到: 先把每个区中由亮度信息和色度信息得到的估计损伤等级分别求出, 即 $\{d_{YP}, d_{YT}, d_{YE}\}$ 和 $\{d_{CP}, d_{CT}, d_{CE}\}$, P 代表平坦区, T 代表纹理区, E 代表边缘区, Y 代表亮度信息, C 代表彩色信息; 然后每个分区中把由亮度和色度得到的估计值线性组合形成每个分区的估计等级 $\{d_P, d_T, d_E\}$; 最后由这 3 个分区中的估计值线性预测得到该幅图像的主观质量评价的估计值 \underline{d} .

VQEG(Video Quality Expert Group)测试结果显示, 该模型在绝大部分测试范围内都表现了很好的性能. 它不仅能被用于符合 MPEG 标准的视频压缩系统上, 也能被应用于评价其它类型的系统(例如基于小波和预测滤波器的编解码系统)和复合信号编解码系统上. 目前在该模型中只对亮度分量进行了分区, 如果同时把彩色分量分区, 那么会对结果有一定的改善.

4 结束语

图象质量的评价技术在图象通信、多媒体技术、信息安全技术等领域都有重要的应用. 随着多媒体信息技术的高速发展, 对图象质量评价的研究将越来越受到人们的重视. 常用评价指标

PSNR 有时并不能很好符合人眼视觉特征,新的评价方法趋向于更好的接近人眼视觉特征,从而有可能更准确更方便地完成图象质量的评价,但仍需深入研究并完善.在新的更合理的图象质量评价指标完善之前,PSNR 仍是一个较好的实用的图象质量评价指标,本文指出了文献[2,3]中应用 PSNR 时的一些错误,并分析了 PSNR 的优缺点,介绍了一些新基于人类视觉特性的图象质量评价方法的研究现状,指出了图象质量评价研究的新的发展方向,对图象质量评价的研究有一定的理论意义和实用价值.

参考文献:

- [1] 吴乐南.数据压缩的原理与应用[M].北京:电子工业出版社,1994.
- [2] 王汇源.数字图象通讯原理与技术[M].北京:国防工业出版社,2000.
- [3] 陆杰,赵忠旭.图象质量评价的发展[J].计算机工程,2000,26(11):4-5.
- [4] 宁媛,李皖.图象水印稳健性的测评及攻击方式[J].贵州工业大学学报,2002,31(3):20-22.
- [5] Guner Arslan, Magesh Valliappan. Quality Assessment of Compression Techniques for Synthetic Aperture Radar Image[A] . ICIIP'99 IEEE computer society[C] . Japan: kobe, 1999, III: 857-861.
- [6] 王楠楠,李桂苓.符合人眼视觉特性的视频质量评价模型[J].中国图象图形学报,2001,6(6):523-527.
- [7] 焦秉立,金东瀚,李彦丽.几种典型的感知视频质量评价模型[J].计算机工程与应用,2002,38(13):66-68

The Exegesis of the Quality Assessment PSNR of Images

LI Hong-lei, LING Jie, XU Shao-qiang

(Faculty of Computer, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: The quality assessment of images techniques has important applications in image hiding, watermark, image communication and image compression. The paper analyzed the greatly used assessment PSNR, points out some of its misuses and introduces some new research statements. It also points out the development direction of the quality assessment of the image technique and has some theory and practical value.

Key words: image quality; PSNR; MSE; HVS

(上接第 60 页)

Intelligent Information Agent Based on Ontology

LUO Qing-lei, ZHANG Wen, LI Wei-hua

(Faculty of Computer, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: This paper introduces the shortage of the traditional information tools and discusses the advantages and characteristics of intelligent information Agent. After that the new technology—Ontology and its important function are introduced. Ontology is imported is set up into the intelligent information Agent, and an instance of Intelligence Information Agent is set up.

Key words: ontology; semantic knowledge; information agent